



BEST AVAILABLE COPY

☒ my account ☐ learning center ☐ patent cart ☐ document cart ☒ login

home research patents alerts documents

Request Research

Research Reports

**CHAT LIVE** Retro Searches  
with a Nerac Analyst

Mon-Fri 4AM to 10PM ET

### Format Examples

#### US Patent

US6024053 or 6024053

US Design Patent D0318249

US Plant Patents PP8901

US Reissue RE35312

US SIR H1523

US Applications 20020012233

#### World Patent Applications

WO04001234 or WO2004012345

European EP01302782

#### Great Britain Applications

GB2018332

French Applications FR02842406

#### German Applications

DE29980239

#### Nerac Document Number (NDN)

certain NDN numbers can be used  
for patents

[view examples](#)



6.0 recommended  
Win98SE/2000/XP

## Patent Ordering



### Enter Patent Type and Number:



optional reference note

☐ Add patent to cart automatically. If you uncheck this box then you must *click on* Publication number and view abstract to Add to Cart.

99 Patent(s) in Cart

### Patent Abstract



GER 2001-08-23 10063086 **MARINE ENGINE SYSTEM ALSO IN THE DYNAMICS OF ADAPTED REGULATION**

**INVENTOR-** Geil, GoEnter 28277 Bremen DE

**APPLICANT-** Siemens AG 80333 MoOnchen DE

**PATENT NUMBER-** 10063086/DE-A1

**PATENT APPLICATION NUMBER-** 10063086

**DATE FILED-** 2000-12-18

**DOCUMENT TYPE-** A1, DOCUMENT LAID OPEN (FIRST PUBLICATION)

**PUBLICATION DATE-** 2001-08-23

**INTERNATIONAL PATENT CLASS-** B63H02122; H02P00500; B63H02117; B63B00308; B63H00508; B63H005125; B63H02122; B63H02122B; B63H02324

**PATENT APPLICATION PRIORITY-** 10001358, A; 10063086, A

**PRIORITY COUNTRY CODE-** DE, Germany, Ged. Rep. of; DE, Germany, Ged. Rep. of

**PRIORITY DATE-** 2000-01-14; 2000-12-18

**FILING LANGUAGE-** German

**LANGUAGE-** German NDN- 203-0474-4026-8

A marine engine system consists of an electrical electrical system (5); and an electrical drive system fed from it (3, 4) and exhibits a; under-stored provision (6) for the propeller engine (3). The number of; revolutions of the propeller engine (3) is described over a; superordinate automatic controller (2), whose reference of the driving; lever (1) comes. In order to suppress impairments of the ship; enterprise due to the too high dynamics of the drive system (3, 4),; filter funds are contained.

**EXEMPLARY CLAIMS-** 1. Marine engine system for an electrical electrical system (5) exhibiting ship, with a driving lever (1)

exhibiting driving lever arrangement, which emits 1) appropriate driving lever signal at their exit (7) the position of the driving lever (, with river -/voltage supply (56) for producing electricity, with an electrical servo unit (6), the one achievement entrance, a power output (19) and a control inlet (12) exhibits, whereby the achievement entrance is connected with the current/voltage supply (5), with a ship's propeller (4) propelling electrical propeller engine (3), that to the power output (19) of the servo unit (6) attached is the number of revolutions of the ship's propeller (4), with an automatic controller mechanism (2), the one automatic controller exit (11) emits appropriate number of revolutions signal, a desired value entrance (8) and, whereby into the desired value entrance (8) the driving lever signal and into the actual value entrance (13) the number of revolutions signal it is fed and the automatic controller exit (11) with the control inlet (12) is located to the servo unit (6) in connection, and along filter means (2, 36, 41, 55), which in addition is furnished, impairments of the ship enterprise causing temporal changes of instantaneous values the electricity to suppress, that exhibits an actual value entrance (13) the servo unit (6) to the propeller engine() delivers. 2. Marine engine system according to requirement 1, by the fact characterized that the instantaneous value is the value of DC voltage or the rms of an alternating voltage. 3. Marine engine system according to requirement 1, by the fact characterized that the instantaneous value is the frequency of an alternating voltage. 4. Marine engine system according to requirement 1, by the fact characterized that the disturbances are oscillations in the hull, which are caused by torque fluctuations of the propeller engine (3). 5. Marine engine system according to requirement 1, by the

NO-DESCRIPTORS

 **proceed to checkout**

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 63 086 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 63 H 21/22**  
H 02 P 5/00  
B 63 H 21/17

②1 Aktenzeichen: 100 63 086.3  
②2 Anmeldetag: 18. 12. 2000  
④3 Offenlegungstag: 23. 8. 2001

DE 100 63 086 A 1

⑥6 Innere Priorität:  
100 01 358. 9 14. 01. 2000  
⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

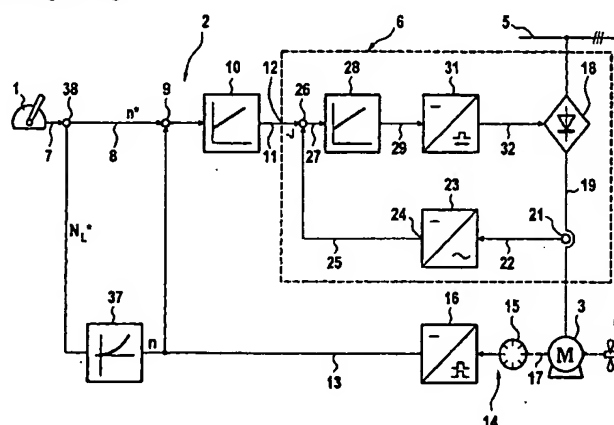
⑦2 Erfinder:  
Geil, Günter, 28277 Bremen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Schiffsantriebssystem mit in der Dynamik angepasster Regelung

⑤7 Ein Schiffsantriebssystem besteht aus einem elektrischen Bordnetz (5) und einem daraus gespeisten elektrischen Antriebssystem (3, 4) und weist eine unterlagerte Regelung (6) für den Propellermotor (3) auf. Die Drehzahl des Propellermotors (3) wird über einen übergeordneten Regler (2) vorgegeben, dessen Führungsgröße von dem Fahrhebel (1) kommt. Um Beeinträchtigungen des Schiffbetriebes aufgrund der zu hohen Dynamik des Antriebssystems (3, 4) zu unterdrücken, sind Filtermittel enthalten.



DE 100 63 086 A 1

## Beschreibung

Antriebs Einrichtungen für Schiffspropeller mit einem elektrischen Propellermotor werden mittels Drehzahlregler geregelt. Über den Fahrhebel wird von der Brücke ein Drehzahl Sollwert vorgegeben. Vor dem Eingang des Reglers wird in einer Summationsschaltung der Drehzahl Sollwert (Führungsgröße) mit dem aktuellen Drehzahlwert verglichen, um hieraus eine Regelabweichung zu bestimmen, die dem Regler zugeführt wird. Das Ausgangssignal des Reglers gelangt als Steuergröße in eine Stelleinrichtung, über die der Propellermotor mit der Stromquelle verbunden ist.

Bei Antrieben mit Synchronmaschine besteht die Stelleinrichtung aus einem Um-/Stromrichter, der aus der Generatorspannung der Dieselgeneratoranlage eine geeignete mehrphasige und in der Frequenz veränderliche Versorgungsspannung erzeugt. Die Stromrichterschaltung ist derart gestaltet, dass sich die Zusammenschaltung aus dem Stromrichter und der Synchronmaschine ähnlich verhält wie eine Gleichstrommaschine, deren Strom über einen Gleichstromsteller eingestellt wird. Das Signal, das in den Steuerungseingang des Gleichstromstellers gelangt, gibt den Strom vor, den die Gleichstrommaschine aufnimmt. In der gleichen Weise gibt das Steuersignal des Reglers den Strom vor, mit dem die Synchronmaschine arbeitet. In der gleichen Weise können auch Asynchronmaschinen mit elektrischer Energie versorgt und zum Schiffsantrieb verwendet werden.

Es hat sich nun herausgestellt, dass derartige Antriebssysteme verhältnismäßig steif sind, d. h. in der Lage sind, auch geringe Drehzahlschwankungen, die innerhalb einer Propellerumdrehung liegen, auszuregeln.

Der Grund für Drehzahlschwankungen bzw. Winkelgeschwindigkeitsänderungen ist das Verhalten des Schiffspropellers in dem Wasser, das bei der Fahrt am Rumpf vorbeiströmt und ein räumlich ungleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil aufweist. Die Propellerblätter bewegen sich bei ihrer Rotationsbewegung teilweise durch den am Schiffsheck vorhandenen Skeg oder Wellenbock hindurch, während sie im anderen Teil ihrer Rotationsbewegung auf andere Strömungsgeschwindigkeiten des Wassers treffen.

Hydromechanisch gesehen kann die zeitlich veränderliche Belastung am Schiffspropeller durch sein Nachstromfeld beschrieben werden. Die Schwankung dieser Belastung, die durch den am Schiffsrumpf vorhandenen Skeg oder Wellenbock verursacht wird, zeigt sich wieder in der Inhomogenität des Nachstromfeldes vom Propeller, die sich wiederum in eine schwankende Fortschrittziffer beim Umlauf des Propellerblattes abbildet.

D. h. es entsteht eine periodische Drehmomentschwankung, die in einer schwankenden Winkelgeschwindigkeit des Schiffspropellers resultiert, die von dem Drehzahlregler bzw. dem diesen untergeordneten Stromregler ausgeregelt wird, um die Drehzahl der Schiffsschraube so exakt als möglich bei dem vorgewählten Drehsollwert konstant zu halten. Die Frequenz der Drehmomentschwankungen entspricht der Wellendrehzahl multipliziert mit der Blätterzahl des Propellers. Die Drehmomentschwankung wird von dem Antriebsmotor auf dessen Verankerung und damit auf den Schiffsrumpf übertragen. Es tritt auch eine Drehmomentrückwirkung bei der Dieselgeneratoranlage auf. Dadurch werden Teile der Schiffskonstruktion mit der Grundwelle dieses pulsierenden Drehmoments zu Schwingungen ange regt, und aufgrund mechanischer Gegebenheiten ist die Resonanz des Schiffsrumpfs bei der betreffenden Frequenz nicht vernachlässigbar. Die entstehenden Vibrationen sind nicht nur lästig für die Personen auf dem Schiff, sondern sie bringen auch eine erhebliche Belastung für die gesamte Konstruktion des Schiffes und dessen Ladung mit sich und

sollten daher vermieden werden.

Bislang wurde versucht, die Schwachstellen für derartige Schwingungen mit der sog. Finite-Elemente-Methode zu berechnen und die so ermittelten kritischen Bereiche durch tonnenweisen Einsatz von Stahl zu verstärken. Diese Methode ist einerseits teuer, verringert andererseits das zulässige Ladegewicht und den nutzbaren Laderaum des Schiffes, erhöht den Treibstoffverbrauch und kann darüber hinaus allenfalls die materialzerstörenden Auswirkungen der von dem Antrieb erzeugten Schwingungen reduzieren, diese jedoch nicht ursächlich eliminieren.

Eine Drehzahlregelung, die die Drehzahl vom Schiffspropeller so exakt als möglich bei dem vorgewählten Drehzahl Sollwert konstant hält, führt zu einem weiteren negativen Effekt.

Da sich die Inhomogenität des Nachstromfeldes voll auf die Schwankung in der Fortschrittziffer vom Propeller abbildet, reduziert sich die Kavitationssicherheit des Propellers, weil sich der Arbeitspunkt eines Propellers seiner Kavitationsgrenze nähert bzw. diese überschreitet kann. Besonders im Bereich eines am Schiffsrumpf vorhandenen Skegs oder Wellenbocks kann der Arbeitspunkt des Propellers die Kavitationsgrenze erreichen oder überschreiten und damit eine Kavitation auslösen, die dann zu erheblichen Schäden am Schiff und insbesondere am Propeller führen kann. Kavitationen führen auch zu unzulässigen Druckschwankungen und Geräuschen, die insbesondere den Nutzwert und Komfort von Passagier-, Forschungs- und militärischen Schiffen erheblich reduzieren.

Über Elektromotoren angetriebene Schiffspropeller können in der Drehzahl sehr schnell verstellt werden. Eine schnelle Verstellung der Drehzahl führt unter anderem auch zu Kavitationen an den Propellerblättern. Dabei hängt die Geschwindigkeit mit der die Drehzahl verstellt wird von der Fahrgeschwindigkeit des Schiffes ab, d. h. von der Anströmgeschwindigkeit, mit der das Wasser auf den Propeller trifft.

Es werden deswegen Hochlaufgeber vorgesehen, die regelungstechnisch gesehen zwischen dem Fahrhebel und dem Sollwerteingang des Reglers liegen.

Bei steigenden Istdrehzahlen des Schiffspropellers verändert sich dessen dynamisches Verhalten erheblich. Aufgrund der quadratisch verlaufenden Propellerkurvenschar (Übergang von der Pfahlzugkurve zur Freifahrtkurve) nimmt bei steigenden Istdrehzahlen die zulässige Dynamik des Schiffspropellers überproportional ab.

Bei aus dem Stand der Technik bekannten Antriebseinrichtungen für Schiffspropeller, wird die Hochlaufzeit, die durch den Hochlaufgeber festgelegt ist, mit steigender Drehzahl des Antriebsmotors für den Propeller in ein bis drei Stufen erhöht, um den Drehzahlüberschuss innerhalb des zulässigen Bereichs der Propellerkurve zu halten.

Darüber hinaus muss das elektrische Antriebssystem hinsichtlich seines Leistungsbedarfs auch Rücksicht auf die Generatorerregung nehmen. Deren Zeitverhalten ist langsamer als die mögliche Dynamik der elektrischen Maschine für den Schiffspropeller.

Der Hochlaufgeber ist unter Berücksichtigung dieser beiden Randbedingungen aus dem Stand der Technik wie folgt ausgelegt:

Beginnend mit der Drehzahl Null beschleunigt der Propellermotor zunächst ohne Begrenzung also optimal. Die von dem Propeller aufgenommene Leistung steigt während des Hochlaufes mit konstanter Hochlaufzeit schneller an und erreicht schließlich eine Strombegrenzung im Drehzahlregler um eine Überlastung der Dieselgeneratoranlage zu vermeiden. Am Ende der ersten Stufe des Hochlaufgebers, wird auf eine andere Hochlaufzeit umgeschaltet. Die von dem elektrischen Antrieb zur Verfügung gestellte Beschleunigungs-

leistung fällt nahezu auf Null zurück. Dadurch entsteht eine sprunghafte Änderung der Leistungsentnahme an der Dieselgeneratoranlage, die diese ausregeln muss, aber nicht notwendigerweise kann. Es kommt zu Frequenz- und/oder Spannungsschwankungen im Bordnetz.

Zumindest in der ersten Phase der Hochlaufzeit entnimmt die Antriebseinrichtung der Dieselgeneratoranlage elektrische Leistung, die unter Umständen zur Versorgung des sonstigen Bordnetzes fehlt.

Für die Beschleunigung des Schiffes ergibt sich beim Wechsel von der ersten Hochlaufphase in die zweite Hochlaufphase der Nachteil, dass über bestimmte Drehzahlbereiche nur eine sehr geringe Schiffsbeschleunigung auftritt.

Die Stromgrenze der elektrischen Maschine für den Propeller liegt bei der oben geschilderten Antriebseinrichtung um etwas 30% des Nennmomentes über der jeweiligen Schiffspropellerkurve. Der Bereich zwischen der Stromobergrenze der elektrischen Antriebsmaschine und der rechnerischen Schiffspropellerkurve wird benötigt, um neben den bei Beschleunigungsvorgängen des Schiffes notwendigen Beschleunigungsmomenten auch eine Reserve für schwere See und/oder Schiffsmanöver zu haben.

Die bisher bei Antriebseinrichtungen für Schiffspropeller stufig gesteuerten Hochlaufgebern, sind nicht in der Lage, der elektrischen Maschine, die den Propeller antreibt, bei Beschleunigungsvorgängen ein definiertes Beschleunigungsmoment zu ermöglichen. Vielmehr geben sie über weite Drehzahlbereiche nur die jeweils aktuelle Stromgrenze frei. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Beschleunigungszeit des Schiffes ein mehrfaches der Hochlaufzeit des Hochlaufgebertyps beträgt.

Wie bereits vorstehend erwähnt, zeigt die Dieselgeneratoranlage ein zeitliches Leistungsverhalten, das sich nur langsamer ändern kann als die Leistungsaufnahme der elektrischen Maschine für den Schiffspropeller. Es sind also neben den Einschränkungen auf Grund der Propellerkurve auch die Einschränkungen zu berücksichtigen, die sich aus der maximalen Dynamik der Generatoranlage ergeben.

Bei der Auslegung von Dieselmotoren für Dieselgeneratoranlagen von Schiffen, werden was das Lastverhalten anbelangt die Vorgaben der International Association of Classification Societies (IACS) berücksichtigt. Das zu den Vorgaben gehörende dreistufige Laständerungsdiagramm greift bei den heutigen hoch aufgeladenen Dieselmotoren erheblich in die Dynamik der Antriebseinrichtung für den Schiffspropeller ein. Erschwerend kommt hinzu, dass die dort genannten Werte besonders im oberen Leistungsbereich heutzutage aufgrund nicht ausreichender Wartung bzw. wegen der Verwendung von Schweröl minderer Qualität oft nicht mehr erreicht werden. Die mögliche Dynamik bei der Leistungsabgabe an der Welle des Dieselmotors geht deshalb erfahrungsgemäß zurück, wenn das Schiff längere Zeit auf See ist.

Ein weiterer zeitlicher Gradient in der Leistungsabgabe von Dieselmotoren, der nicht nach der IACS oder sonst allgemein verbindlich spezifiziert ist, besteht in der thermischen Belastbarkeit des Dieselmotors. Eine gleichmäßige Laständerung darf an einem betriebswarmen Dieselmotor von Null auf Nennleistung beziehungsweise von Nennleistung auf Null nur innerhalb einer von der Baugröße des jeweiligen Dieselmotors abhängigen Mindestzeit erfolgen. Diese Zeiten schwanken baugrößenabhängig stark. Der zeitliche Verlauf, darf auch nicht abschnittsweise überschritten werden, weil es sonst zu Schäden am Dieselmotor kommen kann.

Die vorstehend erwähnten Mindestzeiten können zwischen 10–20 Sekunden bei kleinen und bis zu 120 Sekunden bei großen Dieselmotoren liegen.

Die Stromumrichter, die zwischen der Dieselgeneratoranlage und der elektrischen Maschine des Schiffspropellers liegen, benötigen eine Steuerblindleistung. Die Steuerblindleistung ist von der Last abhängig. Beispiele für derartige Umrichter sind Stromzwischenkreisumrichter, Direktumrichter, Stromrichter für Gleichstrommaschinen und dergleichen.

Die Blindleistung wird von den Synchrongeneratoren der Dieselgeneratoranlage geliefert. Der zeitliche Gradient der lastabhängigen Blindleistung bei den oben genannten Umrichtern mit Steuerblindleistung kann sich 15 bis 25 mal schneller ändern, als die Klemmenspannung der Synchrongeneratoren, der die Generatoranlage nicht folgen kann. Insbesondere das Entregen des Erregerfeldes der Synchrongeneratoren benötigt Zeit.

Wenn beim Antrieb von Schiffspropellern die dynamischen Grenzen der Dieselmotoren überschritten werden, schwankt deren Drehzahl und damit die Frequenz, des von der Dieselgeneratoranlage gespeisten Bordnetzes in unzulässigem Umfang. Auch sind Schäden an den Dieselmotoren nicht auszuschließen, wenn die Drehzahlregelung der Generatoranlage ohne Rücksicht auf die dynamischen Grenzen die Frequenz des Bordnetzes in einem zulässigen Bereich halten soll, beziehungsweise muss. Wenn die dynamischen Grenzen der Synchrongeneratoren überschritten werden, schwankt auch die Spannung des Bordnetzes so stark, dass das zulässige Toleranzband verlassen wird.

Nach dem Stand der Technik wurde bisher an der mehrstufigen oder stetigen Änderung der Hochlaufzeiten des Drehzahlsollwertes und/oder des Stromsollwertes bei Probefahren so lange herum experimentiert, bis das Zusammenspiel zwischen der elektrischen Maschine des Schiffspropellers und der Dieselgeneratoranlage als zufriedenstellend angesehen werden konnte, ohne dass unzulässige Frequenz oder Spannungsschwankungen im Bordnetz auftreten. Hierbei war es oft nur möglich, an bestimmten Arbeitspunkten zu optimieren. Ein fester Zusammenhang zwischen den Einstellmöglichkeiten in der Regelung der elektrischen Maschine für den Schiffspropeller und deren dynamische Auswirkung auf die Dieselgeneratoranlage im Bordnetz war nicht vorhanden. Der zeitliche Verlauf der Entlastung der Dieselgeneratoranlage war in der Regelung der Antriebseinrichtung des Schiffspropellers selten berücksichtigt beziehungsweise einstellbar.

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung ein Schiffsantriebssystem für ein elektrisches Bordnetz aufweisendes Schiff zu schaffen, das zu keinen Komforteinbußen und/oder Beeinträchtigungen im Schiffsbetrieb führt.

Insbesondere soll sich das Schiffsantriebssystem hinsichtlich seines Dynamikumfangs an die verschiedenartigen oben erwähnten Randbedingungen besser anpassen lassen bzw. anpassen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Schiffsantriebssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die Komforteinbußen können sich in Schwingungen der Schiffsstruktur und/oder flackerndem Licht äußern. Aufgrund der erfindungsgemäßen Einrichtung wird dafür gesorgt, dass unabhängig von der Verstellgeschwindigkeit des Fahrhebels und/oder des Ruderwinkels keine Schwankungen des Momentanwertes der Bordnetzspannung und/oder dessen Frequenz auftreten, die über ein erträgliches Maß hinausgehen.

So könnten Schwankungen der Bordnetzspannung auftreten, wenn der Fahrhebel zu schnell auf Null zurückgestellt wird und die Generatoranlage schneller entlastet wird als die Entregung der Synchronmaschine erfolgen kann. Umgekehrt kann es auch zu Schwankungen kommen, wenn der

Fahrhebel zu schnell in Richtung auf eine hohe Motorleistung verstellt wird. In aller Regel sinkt dabei die Frequenz, weil der Dieselmotor nicht schnell genug beschleunigen kann.

Eine ähnliche Auswirkung auf die Generatoranlage und/oder das Bordnetz haben Ruderbewegungen. Mit dem Auslegen des Ruders steigt die Last auf dem Propeller, während die Last am Propeller zurück geht, wenn das Ruder in die Nullstellung gefahren wird.

Zu starke Beschleunigungsvorgänge des Propellers können auch zu erheblichen Geräuschen führen, wenn die Beschleunigungen zu Kavitationen am Schiffspropeller führen.

Die Einkoppelung von Geräuschen von dem Schiffsrumpf und dem Propeller in das Wasser stellt eine weiträumig sich ausbreitende Umweltverschmutzung dar, die den Einsatz von Schiffen in entsprechenden Schutzgebieten, z. B. Arktis und Antarktis erheblich einschränken kann. Die Reduzierung der oben beschriebenen Geräuschemission eröffnet insbesondere Passagierschiffen wirtschaftlich besonders interessante Fahrtgebiete, in denen die dort lebende Tierwelt auf Grund dieser Erfindung vor schädigenden Geräuschen und Druckschwankungen geschützt bleibt.

Um den Erschütterungen entgegen zu wirken, die entstehen, weil der Schiffspropeller im Fahrwasser Drehmomentschwankungen unterliegt, umfassen die Filtermittel erste Filtermittel, die dazu eingerichtet sind, Amplitudenschwankungen des Signals an dem Steuereingang der Stelleinrichtung zu unterdrücken. Infolge der Drehmomentschwankungen ändert sich die Winkelgeschwindigkeit der Propellerwelle, was zu einer entsprechenden Welligkeit des von dem Drehzahlgeber gelieferten Signals führt. Die Welligkeit würde sich ohne die Erfindung unmittelbar in der Regeldifferenz wiederfinden und dazu führen, dass entsprechend dieser Regeldifferenz der Strom für den Propellermotor und damit dessen Antriebsmoment schwankt. Mit Hilfe der ersten Filtermittel wird diese Welligkeit herausgefiltert, d. h. dem Antriebssystem wird die Möglichkeit gegeben in der Drehzahl nachzugeben, wenn die Propellerblätter gegen einen hohen Strömungswiderstand anlaufen, und die Drehzahl wieder aufzunehmen, wenn die "Schwergängigkeit" wieder nachgelassen hat.

Die hierfür brauchbaren Filtermittel können Amplitudenfilter sein, die eine Signaländerung erst dann weiterleiten, wenn die Signaländerung einen bestimmten Pegel überschritten hat. Ein derartiges Filter kann beispielsweise mittels einer Diodenkennlinie realisiert werden. Die andere Möglichkeit besteht in einem Frequenzfilter, dass als Tiefpass wirkt und die der Regeldifferenz überlagerte Welligkeit herausfiltert.

Die Frequenzfiltermittel können adaptiv ausgeführt sein, in der Weise, dass sich die Grenzfrequenz mit der Drehzahl der Propellerwelle oder die Spannungsschwelle mit dem Grund- oder Gleichwert der Eingangsgröße verändert. Auf diese Weise kann in allen Drehzahlbereichen eine ausreichende Dynamik gewährleistet sein, ohne dass die Unterdrückung der Welligkeit einen Einfluss auf die Regeldynamik hat oder in einem anderen Drehzahlbereich die Welligkeit bis zu der Stelleinrichtung durchschlägt.

Die ersten Filtermittel können zwischen dem Reglereingang und dem Drehzahlsensor, im Signalpfad des Signals mit der Regeldifferenz oder am Ausgang des Reglers zwischen Regler und Steuereingang der Stelleinrichtung angeordnet sein. Es ist auch möglich, die Filtermittel in der Stelleinrichtung zu implementieren.

Wenn die Filtermittel als Amplitudenfilter ausgeführt werden, liegen sie zweckmäßigerweise im Signalpfad für die Regeldifferenz.

Die Regeleinrichtung hat bevorzugt ein PI-Regelverhal-

ten.

Die Regeleinrichtung kann in klassischer Weise als Analogregeleinrichtung oder digital arbeitend ausgeführt sein.

Im Falle eines PI-Reglers wird die gewünschte Filtereigenschaft erreicht, wenn das Ausgangssignal der Regeleinrichtung gegenphasig auf den Eingang zurückgeführt wird.

Die Stelleinrichtung für den Propellermotor kann selbst wieder als Regler ausgeführt sein. Das Steuersignal für die Stelleinrichtung hat dabei vorzugsweise die Bedeutung eines Stromsollwertes, d. h. es wird der Strom gesteuert, der von der Stelleinrichtung an den Propellermotor abgegeben wird und somit das Drehmoment, das von dem Propellermotor abgegeben wird. Eine derartige Steuerung ist auch möglich, wenn der Propellermotor von einer Synchronmaschine gebildet wird und die Stelleinrichtung als Umrichter bzw. Stromrichter ausgeführt ist. Hierfür geeignete Schaltungen sind aus dem Stand der Technik bekannt.

Falls zum Filtern der Welligkeit eine Rückkopplung verwendet wird, wird diese zweckmäßigerweise derart eingestellt, dass sich bei Nennlast eine stationäre Regelabweichung von etwa 0,2 bis etwa 3% ergibt. Falls diese Regelabweichung störend ist, kann sie durch einen entsprechend korrigierten Sollwert kompensiert werden. Die Sollwertkompensation kann von der geschätzten Belastung abhängig erfolgen.

Zum Unterdrücken von Kavitationserscheinungen am Schiffspropeller wegen zu schneller Beschleunigung umfassen die Filtermittel zweckmäßigerweise zweite Filtermittel, die als gesteuerter Hochlaufgeber ausgeführt sind. Mit Hilfe des Hochlaufgebers wird die Änderungsgeschwindigkeit der Drehzahl der Propellerwelle an das zulässige Maß angepasst.

Zu diesem Zweck enthalten die zweiten Filtermittel eine Kennlinie, damit abhängig von der Drehzahl des Propellermotors, die Anstiegsgeschwindigkeit des vom Fahrhebel ankommenden Sollwertsignals verlangsamt wird. Hierzu können die zweiten Filtermittel zwischen dem Eingang der Regeleinrichtung und dem Fahrhebel angeordnet werden. An dieser Stelle beeinträchtigen Sie nicht das Regelverhalten, bestehend aus Regeleinrichtung, Stelleinrichtung und Schiffspropeller.

Die Kennlinie der zweiten Filtermittel ist stetig in dem Sinne, dass sie frei von Sprüngen ist. Sie braucht nicht notwendigerweise im mathematischen Sinne glatt zu sein, sondern sie kann als Polygonzug angenähert sein. Wesentlich ist nur, dass die Übergänge innerhalb des Polygonzugs sprunfrei sind. Die Kennlinie kann eine quadratische Kennlinie mit Offset sein.

Damit das Schiff im niedrigen Geschwindigkeitsbereich gut manövrierbar bleibt, ist die Kennlinie zumindest im unteren Drehzahlbereich so bemessen, dass die Hochlaufzeit konstant und kurz, bzw. mit der Drehzahl des Propellers nur leicht steigend ist. Das Antriebssystem "hängt" dann quasi direkt am Fahrhebel.

In einem höheren Drehzahlbereich der bei ca. 25 bis 45% der Nenndrehzahl beginnt, steigt die Hochlaufzeit mit der Drehzahl des Propellermotors an, bzw. stärker an. Dadurch wird die mögliche Winkelbeschleunigung unabhängig von der Verstellgeschwindigkeit des Fahrhebels um so niedriger, je höher die Drehzahl des Schiffspropellers ist.

In einem oberen Drehzahlbereich, der beispielsweise bei der halben Nenndrehzahl beginnt, wird die Geschwindigkeit, mit der die Drehzahl des Propellermotors zunehmen kann, noch weiter gedrosselt, d. h. die Hochlaufzeit steigt noch stärker mit der Drehzahl an, als in dem darunter liegenden Drehzahlbereich.

Es wäre jedoch auch denkbar, die Drehzahl des Propellermotors beginnend mit einer kurzen Hochlaufzeit und dann

mit steigender Drehzahl des Propellermotors quadratisch ansteigend zu führen, damit die Geschwindigkeit, mit der die Drehzahl des Propellermotors zunehmen kann, nach einer Wurzelfunktion plus Offset verlangsamt wird.

Die zweiten Filtermittel können in digitaler Form mittels Mikroprozessor oder analog arbeitend ausgeführt sein.

Wie eingangs bereits ausgeführt, entstehen Komforteinbußen auch dann, wenn die Bordnetzspannung zu stark schwankt, weil die Generatoranlage nicht schnell genug dem geänderten Leistungsbedarf des Schiffsantriebes folgen kann. Das Erregen und insbesondere das Entregen der Synchronmaschinen benötigen Zeit. Wird die Leistungsabnahme durch den Schiffsantrieb schneller geändert als die Erregung/Entregung erfolgen kann, verlässt die Bordspannung das zulässige Toleranzband, was die am Bordnetz angeschlossenen Geräte unnötig be- oder überlastet. Auch der Dieselantrieb für die Generatoren kann nicht schnell genug folgen, was zu Schäden am Dieselmotor führen kann.

Um Beeinträchtigung hierdurch zu eliminieren, können die Filtermittel ein drittes Filtermittel umfassen, das die Geschwindigkeit der Änderung der Leistungsaufnahme durch den Propellermotor begrenzt und zwar auf solche Werte, denen die Bordnetzanlage problemlos folgen kann.

Die dritten Filtermittel können wiederum entweder im Signalpfad des Sollwertsignals, also zwischen dem Regler und dem Fahrhebel angeordnet sein, oder nach der Regeleinrichtung oder unmittelbar in der Stelleinrichtung implementiert werden. Die Anordnung nach dem Regler oder nach der Differenzbildung hat den Vorteil, auch Zustandsänderungen zu verlangsamen, die durch Änderungen der Propellerbelastung verursacht sind. Solche Änderungen der Propellerbelastung entstehen beim Fahren des Ruders oder beim Abschalten bzw. Drosseln eines Propellers bei Mehrwellenanlagen.

Die Ausführung der dritten Filtermittel erfolgte zweckmäßigerweise in digitaler Form basierend auf Mikroprozessoren.

Die dritten Filtermittel können auch klassisch aufgebaut sein und analog arbeiten.

Die dritte Filtermittel können so ausgeführt sein, dass sie die Änderungsgeschwindigkeit bei einer Verstellung des Fahrhebels in Richtung auf größere Leistungsaufnahme auf andere Werte begrenzen, verglichen mit der Verstellung des Fahrhebels in Richtung auf kleine Leistungswerte.

Die Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit nimmt zumindest in einem oberen Leistungsbereich bzw. Drehzahlbereich des Propellermotors ab.

Die Änderungsgeschwindigkeit, die die dritten Filtermittel zulassen, kann auch von der Anzahl der Generatoren abhängig sein, die das Bordnetz speisen. Eine weitere Einflussgröße kann der Betriebszustand der Anlage sein, d. h. ob sich die Anlage bereits in einem betriebswarmen, stationären Zustand befindet oder noch in der Warmlaufphase, bzw. abhängig von der Gesamtbetriebsdauer. Schließlich ist eine weitere Einflussgröße die Belastung der Generatoranlage, nämlich ob die Belastung im unteren, im mittleren oder im oberen Leistungsbereich der Dieselmotoren liegt.

Damit das Schiff manövrierfähig bleibt und auch keine Regelschwingungen auftreten, die durch die Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit verursacht sind, können die dritten Filtermittel so gestaltet sein, dass sie ein Fenster wirklichen, innerhalb dessen, die dritten Filtermittel auf die Änderungsgeschwindigkeit mit der sich das Signal am Steuereingang der Stelleinrichtung verändert, nicht beeinflussen. Ein solches Fenster ist insbesondere zweckmäßig, wenn die dritten Filtermittel im Signalpfad zwischen der Regeleinrichtung und der Stelleinrichtung liegen. Falls die dritten Filtermittel zwischen dem Fahrhebel und dem Sollwertein-

gang der Regeleinrichtung liegen, kann unter Umständen auf ein solches Fenster verzichtet werden.

Im übrigen sind Weiterbildungen der Erfindung Gegenstand von Unteransprüchen. Dabei sollen auch solche Kombinationen von Merkmalen in den Schutzzumfang fallen, die nicht durch ein Ausführungsbeispiel wiedergegeben sind.

Wenn in den Patentansprüchen von "Schiffspropeller" und "Propellermotor" die Rede ist, so ist für den Fachmann klar, dass die Erfindung nicht auf einen einzigen Motor und einen einzigen Schiffspropeller beschränkt ist, sondern auch mehrere Motoren oder Schiffspropeller gemeinsam oder getrennt voneinander gesteuert werden können. Außerdem bezieht sich die Erfindung gleichweise auf Über- wie auf Unterwasserschiffe.

In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele in der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 das Blockschaltbild eines Schiffsantriebssystems mit ersten Filtermitteln zur Verminderung von Schwingungen im Rumpf, verursacht durch das Verhalten des Propellers im Wasser,

Fig. 2 die Regeleinrichtung nach Fig. 1 in einem detaillierten Blockschaltbild,

Fig. 3 das Übertragungsverhalten eines Amplitudenfilters,

Fig. 4 das Blockschaltbild eines Schiffsantriebssystems mit zweiten Filtermitteln zur Anpassung der Dynamik an die Dynamik des Schiffspropellers,

Fig. 5 die Übertragungskennlinie des zweiten Filtermittels,

Fig. 6 den Verlauf der Schiffsbeschleunigung eines Schiffes, das mit dem erfindungsgemäßen Antriebssystem ausgestattet ist,

Fig. 7 das Blockschaltbild eines Schiffsantriebssystems, das mit einem dritten Filtermittel versehen ist, um die Dynamik des Propellermotors an die Dynamik der Generatoranlage anzupassen,

Fig. 8 Kennlinien des dritten Filtermittels,

Fig. 9 den Verlauf der Hoch- und Rücklaufzeit des Stromsollwertes, bei unterschiedlicher Anzahl von speisenden Generatoren,

Fig. 10 den Verlauf des Fensters der dritten Filtermittel in dem keine Beschränkung der Änderungsgeschwindigkeit erfolgt, bezogen auf einen stetigen Wert und

Fig. 11 den Verlauf des Fensters in Abhängigkeit von der Anzahl der aktiven Generatoren.

In Fig. 1 ist in das Blockschaltbild eines elektrischen Schiffsantriebssystems veranschaulicht. In dem Blockschaltbild sind nur jene Teile dargestellt, die für das Wesen der Erfindung von Bedeutung sind. Selbstverständlich ist das genaue Schaltbild des Schiffsantriebssystems wesentlich komplizierter, jedoch würde die Darstellung sämtlicher Einzelheiten nur das Wesen der Erfindung verschleiern und das Verständnis erschweren.

Zu dem Schiffsantriebssystem gehören ein auf der Brücke angeordneter Fahrhebel 1, eine Regeleinrichtung 2, ein Propellermotor 3 zum Antrieb eines Schiffspropellers 4, ein schematisch angedeutetes Bordnetz 5 sowie eine Stelleinrichtung 6, über die der Propellermotor 3 mit dem Bordnetz 5 verbunden ist. Der Begriff Fahrhebel wird in den vorliegenden Unterlagen stellvertretend für alle Einrichtungen genannt, mit denen die Fahrgeschwindigkeit auf einer hohen Kontrollebene vorgegeben wird, wie beispielsweise Automatiksysteme, sozusagen einen "Tempomat" für Schiffe.

Der Fahrhebel 1 liefert ein elektrisches Signal, das der Drehzahl des Schiffspropellers 4 entspricht, als Führungsgröße über eine Verbindungsleitung 7 an einen Sollwerteingang 8 der Regeleinrichtung 2. Die Regeleinrichtung 2 enthält einen Summationsknoten 9 sowie einen PI-Regler 10,



dessen Ausgang 11 mit einem Eingang 12 der Stelleinrichtung 6 verbunden ist.

Das Istwertsignal erhält die Regeleinrichtung 2 über eine Leitung 13, die an einen Drehzahlsensor 14 angeschlossen ist. Der Drehzahlsensor 14 setzt sich aus einem digital arbeitenden Drehzahlgeber 15 und einem Digital/Analogwandler 16 mit Drehrichtungserkennung zusammen.

Der Drehzahlgeber 15 ist mit einer Propellerwelle 17 verbunden, auf die der Propellermotor 3 arbeitet und an der der Schiffspropeller 4 drehfest sitzt. Mit Hilfe der Digital/Analogwandlers 16 wird aus zwei von dem Drehzahlgeber 15 kommenden phasenverschobenen periodischen Digitalsignalen in bekannter Weise ein der Drehzahl proportionales Signal mit Vorzeichen erzeugt, das in die Leitung 13 gelangt. An dem Summationsknoten 9 der Regeleinrichtung 2 wird dieses Signal, das der Drehzahl des Schiffspropellers 4 proportional ist, mit dem Signal verglichen, das von dem Fahrhebel 1 kommt.

Der Drehzahlsensor 14 kann alternativ ein indirektes Messsystem sein. Die Drehzahl mit Hilfe des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung vorzugsweise in der Stelleinrichtung 6 oder in der Verbindungsleitung 19 zum Propellermotor erfasst.

Die sich hieraus ergebende Differenz wird in dem PI-Regler 10 entsprechend dessen Charakteristik verarbeitet. Das Regelverhalten eines PI-Reglers ist bekannt und braucht an dieser Stelle nicht näher erläutert zu werden.

Die Stelleinrichtung 6 ist wiederum selbst nach Art eines Reglers aufgebaut und enthält einen Steuersatz 18, beispielsweise aus GTO's in Brückenschaltung, die zwischen dem mehrphasigen, beispielsweise dreiphasigen Bordnetz 5 und dem Propellermotor 3 in Serie liegen.

Der Propellermotor 3 ist beispielsweise eine Synchronmaschine und der Steuersatz 18 wird derart gesteuert, dass er eine entsprechende mehrphasige und in der Frequenz veränderbare Wechselspannung erhält. In einer Verbindungsleitung 19 zwischen dem Steuersatz 18 und dem Propellermotor 3 liegt ein Stromsensor 21, der über eine Leitung 22 mit einer Wandler-schaltung 23 verbunden ist. Eine Anordnung des Stromsensors 21 an der Eingangsseite des Steuersatzes 18 ist ebenfalls möglich.

Die Wandler-schaltung 23 erzeugt aus dem von dem Stromsensor 21 erfassten Wech-sel-signal, ein Gleich-signal, das beispielsweise dem Gesamteffektivwert des Stromes entspricht, der in den Propellermotor 3 hineinfließt. Die Wandler-schaltung 23 gibt dementsprechend an ihrem Ausgang 24 ein Gleich-signal ab, das über eine Leitung 25 einem Summationsknoten 26 zugeführt wird. In dem Summationsknoten 26 wird das stromproportionale Signal des Stromsensors 21 mit dem Ausgangssignal der Regeleinrichtung 2 verglichen, weshalb der andere Eingang des Summationspunktes 26 mit dem Eingang 12 der Stelleinrichtung verbunden ist. Die so erhaltene Differenz aus Strom-sollwert und Strom-istwert gelangt über eine Leitung 27 in einen weiteren PI-Regler 28, dessen Ausgangssignal über eine Leitung 29 in eine Ansteuerschaltung 31 eingespeist wird, die aus dem Reglerausgangssignal die phasenrichtigen Steuersignale für den Steuersatz 18 erzeugt, der über eine mehrpolige Leitung 32 mit der Ansteuerschaltung verbunden ist.

Die Stelleinrichtung 6 bildet im vorliegenden Fall einen Stromumrichter. Anstelle der Synchronmaschine kann auch eine Asynchronmaschine den Propellermotor bilden. Ebenfalls möglich ist eine Gleichstrommaschine, die gegebenenfalls wechselstromgespeist ist.

Das Strömungsfeld des Wassers, dass an dem Schiffspropeller 4 vorbeiströmt ist räumlich unterschiedlich. Die ungleichmäßige Strömungsverteilung verhindert, dass der Schiffspropeller 4 während einer vollen Umdrehung immer

dieselben Widerstandsmomente im Wasser vorfindet. Wenn seine Propellerblätter in bestimmte Strömungsbereiche eintauchen, treffen sie auf einen erhöhten Widerstand. Dieser räumlich unterschiedliche Widerstand führt zu Drehmomentenschwankungen, wenn die Antriebswelle 17 mit exakt konstanter Drehzahl angetrieben wird.

Zufolge der konstanten Wellendrehzahl entstehen in dem Propellermotor 3 Gegendrehmomente, die auf die Schiffsstruktur übertragen werden. Sobald das Propellerblatt aus dem Bereich mit hohem Strömungswiderstand wieder austritt, sinkt das Drehmoment, bis das nächste Propellerblatt in diesen Strömungsbereich gelangt. Das Drehmoment, das der Propellermotor 3 aufbringen muss, schwankt also periodisch mit einer Frequenz, die sich aus dem Produkt der Wellendrehzahl mit der Anzahl der Propellerblätter ergibt.

Die Drehmomentschwankungen bilden sich als Schwankungen der Winkelgeschwindigkeit ab und werden als Winkelgeschwindigkeitsänderungen von dem Drehzahlsensor 14 erfasst. Die Regeleinrichtung 2 ist bestrebt, die Drehzahl-schwankungen auszuregeln, um die Propellerwelle 17 mit konstanter Drehzahl anzutreiben. Die Folge sind erheblich Vibrationen im Schiffsrumpf.

Das Signal, das in den Steuereingang 12 der Stelleinrichtung 6 gelangt, setzt sich, wenn keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden, aus einem Gleichanteil zusammen, dem eine Welligkeit entsprechend der Drehmomentschwankungen überlagert ist.

Erfindungsgemäß ist die Regeleinrichtung mit ersten Filtermitteln ausgestattet, deren Zweck darin besteht, die zuvor erwähnte Welligkeit zu unterdrücken.

Sobald das in den Steuereingang 12 gelangende Signal frei von dieser Welligkeit ist, kann der Propellermotor 3 den Schiffspropeller 4 mit konstantem Drehmoment antreiben. Es wird sich jetzt die Winkelgeschwindigkeit der Propellerwelle 17 periodisch ändern, entsprechend der "momentanen Schwergängigkeit" des Schiffspropellers 4 im Wasser. Dafür ist der Propellermotor 3 weitgehend frei von periodische Drehmomentschwankungen, die die Schiffstruktur zu Vibrationen anregen könnten.

Eine Möglichkeit die ersten Filtermittel zu realisieren ist in Fig. 2 gezeigt. Der Regler 10 enthält eingangsseitig einen Proportionalregler 33, der eingangsseitig mit dem Summationspunkt 9 verbunden ist, und ausgangsseitig an einem Eingang eines Integralreglers 34 angeschlossen ist. Mit seinem Ausgang liegt der Integralregler 34 an einem Eingang eines Summationspunktes 35, dessen anderer Eingang mit dem Ausgang des Proportionalreglers 33 verbunden ist. Der Ausgang des Summationspunktes 35 bildet den Ausgang des Reglers, an den die Verbindungsleitung 11 angeschlossen ist. Von der Leitung 11 führt ein Rückkopplungswiderstand 36 zu dem Eingang des Reglers 33, der das Ausgangssignal gegenphasig an den Eingang zurückführt.

Ein solchermaßen aufgebaute Regler zeigt insgesamt gesehen, ein Tiefpass/Verstärkungsverhalten, das in der Lage ist, die von den Drehmomentschwankungen des Schiffspropellers 4 verursachte Welligkeit zumindest zu vermindern.

Durch den Rückkopplungswiderstand 36 wird die Gesamtverstärkung verändert. Bei jeder Abweichung des Drehzahlwertes  $n$  von einem Drehzahlsollwert  $n^*$  wird virtuell der modifizierte Drehzahlsollwert  $n^*$  um einen Wert  $n_R = R \times I^*$  herabgesetzt, wenn die Stelleinrichtung 6 zur Erzeugung eines Gegendrehmomentes eine endlichen Strom-sollwert  $I^*$  erzeugt.

Dadurch versucht die Stelleinrichtung 6 nur auf den entsprechend reduzierten Drehzahlsollwert  $n^* - n_R$  auszuregeln und gibt dadurch dem Propellermotor 3 Gelegenheit durch Reduzierungen  $n$  von  $n^*$  auf  $n^* - n_R$  Schwun-genergie aus dem Antriebsstrang, bestehend aus dem Propellermotor 3,



dem Schiffspropeller 4 und der Propellerwelle 17 freizusetzen. Dabei stellt die Regeleinrichtung 2 der absinkenden Motordrehzahl  $n$  virtuell einen absinkenden Drehzahlsollwert  $n^* - n_R$  gegenüber und muss dadurch kaum gegensteuern. Dadurch erzeugt der Propellermotor 3 kein oder nur ein geringes zusätzliches Drehmoment, so dass an der Motorverankerung kein erhöhtes Drehmoment in den Schiffsrumpf eingeleitet wird.

Sobald die Propellerblätter eine andere Stellung eingenommen haben, sinkt die Belastung an der Propellerwelle 17 und ohne eine Erhöhung des Motordrehmomentes steigt die Drehzahl  $n$  wieder an. Da nun der Drehzahlwert  $n$  größer wird als der virtuelle Drehzahlsollwert  $n^* - n_R$  sinkt die Amplitude des Reglerausgangssignals und das System kehrt in den anfänglichen Arbeitspunkt zurück. Da die Drehzahl während eines derartigen Zyklus ausschließlich nach unten nachgegeben hat, sinkt der Mittelwert der Drehzahl  $n$  gegenüber dem tatsächlichen konstanten Drehzahlsollwert  $n^*$  etwas ab, was als bleibende Regelabweichung von etwa 0,2 bis 3% erkennbar ist. Um diesem Effekt entgegen zu wirken, kann in dem Führungsgrößenkanal also zwischen dem Fahrhebel 1 und dem Summationspunkt 9 eine Kompensationschaltung eingefügt sein, die den Drehzahlsollwert  $n^*$  virtuell um eine entsprechende Maß nach oben verstellt.

Hierbei kann insbesondere bei Schiffspropellern die Tatsache genutzt werden, dass das Lastmoment des Propellers 4 etwa quadratisch mit dessen Drehzahl  $n$  ansteigt, so dass demzufolge auch das zurückgekoppelte, im statischen Zustand dem Antriebsmoment des Propellermotors 3 etwa proportionale über den Widerstand rückgekoppelte Signal etwa als quadratische Funktion des Drehzahlmittlerwertes  $n$  näherungsweise identisch mit dem Drehzahlsollwert  $n^*$  ist. Dementsprechend muss der Kompensator einen zu dem Drehzahlsollwert  $n^*$  quadratisch ansteigenden Zweig aufweisen.

Entsprechend kann in der Leitung 13 ein Funktionsgeber 37 enthalten sein, der die oben beschriebene Kompensation abbildet und als Signal  $N_L^*$  einem Summationspunkt 38 in der Leitung 7 zugeführt. Hierdurch wird den Drehzahlsollwert  $n^*$  um einen Wert  $n_L^* f(n)$  heraufgesetzt. Im statischen Zustand ist damit  $n_L^* = -n_R$  und hat die gewünschte Wirkung, dass im Summationspunkt 9 die Summe aus dem Signal 8 und dem Signal 35 gleich dem Signal 6 ist.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 werden die drehmomentproportionalen Schwankungen des Reglerausgangssignal etwa um  $180^\circ$  phasenverschoben dem Drehzahlreglereingang zurückgeführt, so dass sich einerseits eine negative und damit stabile Rückkopplung ergibt und andererseits das zum Ausregeln der belastungsbedingten Schwankungen der Drehzahl erforderliche Drehmoment bzw. das hierzu etwa proportionale Reglerausgangssignal reduziert wird. Dies hat vor allem zur Folge, dass die Schwankungen des Antriebsdrehmoments deutlich herabgesetzt werden können, wodurch die über die Verankerung an den Schiffskörper abgegebenen Schwankungen des Drehmoments und die über den Schiffspropeller an das Nachstromfeld vom Schiffspropeller abgegebenen Druckschwankungen bis auf unkritische Werte abgesenkt werden können. Ein Nebeneffekt hierbei ist, dass die Drehzahl des Propellers nun nicht mehr exakt konstant bleibt, sondern gewissen Schwankungen, wie sie durch die wechselnde Belastung hervorgerufen werden, unterliegt. Dies ist jedoch für den von dem Propeller erzeugten Vortrieb von geringster Bedeutung, andererseits kann hierbei auf vorteilhafte Weise das Trägheitsmoment des Rotors vom Elektromotor, des Propellers und der Welle zur Abdämpfung dieser Schwankungen verwendet werden. Infolge der nahezu reibungsfreien Drehlagerung der Welle erfährt der Schiffsrumpf von diesen Drehzahl-

schwankungen keine Anregung.

Hydromechanisch gesehen hat dieser Effekt den wesentlichen Vorteil, dass die Drehzahl des Propellers nun nicht mehr exakt konstant bleibt, sondern gewissen Schwankungen unterliegt, die durch die wechselnden Belastungen am Propeller hervorgerufen werden. Hierdurch wird die von der hydromechanischen Kopplung des Nachstromfeldes mit der Fortschrittziffer herrührende Schwankungsbreite reduziert. Diese Reduzierung der Schwankungsbreite der Fortschrittziffer entsteht, weil die Schwankung der Belastung an dem Propellerblatt, das sich in dem inhomogenen Nachstromfeld des am Schiffsrumpf vorhandenen Skegs oder Wellenbocks befindet, aufgrund des obigen Effektes der Erfindung zu einer Änderung in der Drehzahl führt. Die Änderung wirkt aufgrund ihrer Richtung und Größe der Ursache entgegen. Es kommt zu einer Änderung in der Drehzahl und damit zu einer Abdämpfung der Schwankungsbreite der Fortschrittziffer desjenigen Propellerblattes, das in Bezug auf die Kavitation am meisten gefährdet ist. Die Rückwirkung dieser Propellerblattes auf die anderen Blätter des Propellers aufgrund des beschriebenen Effektes ist von geringer Bedeutung, weil deren Arbeitspunkte erheblich dichter beim Nennarbeitspunkt des Propeller liegen bleiben, als der Arbeitspunkt desjenigen Propellerblattes, das sich im inhomogenen Teil des Nachstromfeldes des am Schiffsrumpf vorhandenen Skegs oder Wellenbocks befindet.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass das zurückgeführte Ausgangssignal des Drehzahlreglers mit einem Faktor multipliziert wird. Naturgemäß sollte diese Rückkopplung nicht zu stark gewählt werden, da sonst durch den ebenfalls zurückgekoppelten, etwa konstanten Mittelwert des Antriebsmoments eine starke Reduzierung des Drehzahlsollwertes aufträte und dadurch der Drehzahlregler selbst bei einer Realisierung desselben mit PI-Charakteristik nicht mehr in der Länge versetzt wäre, die Antriebswelle auf den eingestellten Drehzahlsollwert zu beschleunigen. Da andererseits sowohl für das Reglereingangssignal wie auch für dessen Ausgangssignal ein vorbestimmter Spannungsbereich zur Verfügung steht, beispielsweise  $-10\text{ V}$  bis  $+10\text{ V}$ , wobei die Grenzwerte jeweils der maximalen Drehzahl bei Vorwärts- und Rückwärtsfahrt entsprechen, bzw. dem maximalen Motordrehmoment, so ist für die Einstellung eines optimalen Grades der Rückkopplung eine multiplikative Anpassung dieser beiden Signalpegel unerlässlich.

Der Multiplikationsfaktor kann zwischen 0,01% und 5%, vorzugsweise zwischen 0,1% und 3,0%, insbesondere zwischen 0,15% und 2% liegt. Es handelt sich hierbei um eine naturgemäß sehr geringe Gegenkopplung, da – wie oben bereits erwähnt – bereits ein Großteil der von der wechselnden Belastung angeforderten Energie von dem Trägheitsmoment des Rotors vom Elektromotor, des Propellers und der Antriebswelle aufgenommen und an diese jeweils wieder zurückgegeben werden kann.

Indem hier durch die Erfindung ein gewisser Freiheitsgrad für Drehzahlschwankungen eingeräumt wird, lässt sich der Antriebstrang vorteilhaft als Energiespeicher verwenden, der ähnlich wie der Stützkondensator bei einer Stromversorgung zu einer Glättung der Energieaufnahme aus dem elektrischen Versorgungsnetz der Antriebsanlage beiträgt. Deshalb führt eine geringe Gegenkopplung zu dem bemerkenswerten Ergebnis, dass das von dem Antriebsmotor aufbringende Drehmoment weitgehend geglättet wird, ohne dass hierdurch eine erhebliche, bleibende Regelabweichung von dem vorgewählten Sollwert verursacht würde.

Für die Dimensionierung der Gegenkopplung hat sich eine Einstellung bewährt, derart, dass bei Nennlast die statische Regelabweichung etwa zwischen 0,2% und 2% liegt. Hierbei wird trotz der Gegenkopplung des Reglerausgangs-

signals die Qualität der Regelung, insbesondere die Dynamik bei Veränderungen des Drehzahlsollwertes, nicht beeinträchtigt.

Ein von der Erfindung bevorzugtes Kompensationsverfahren verwendet die geschätzte, mittlere Belastung des Antriebs als Ausgangsgröße und versucht, durch mathematische Erfassung der Streckenparameter hieraus die zu erwartende, statische Regelabweichung zu ermitteln und durch eine entsprechende, gegenseitige Verstellung des Drehzahlsollwertes auszugleichen.

In vielen Fällen, insbesondere auch bei Propellerantrieben von Schiffen, hat die Regelstrecke zumindest näherungsweise bekannte Eigenschaften. Insbesondere ergibt sich das statische, mittlere Belastungsmoment gemäß einer Kennlinie aus dem statischen Drehzahlwert. Beispielsweise steigt bei Propellerantrieben das Antriebsdrehmoment etwa quadratisch mit dem Drehzahlwert an. Wenn der Drehzahlwert daher einem bestimmten Drehzahlsollwert entsprechen soll, kann aus dieser Kennlinie näherungsweise das Drehmoment bestimmt werden, welches in statischem Zustand etwa proportional zu dem Reglerausgangssignal ist, so dass sich auch der Mittelwert des rückgekoppelten Signals und damit die bleibende Regelabweichung bestimmen lässt. Diese wird dem Sollwert hinzugefügt wird, vorzugsweise additiv, womit sich bei Eintreten der vorausberechnete Regelabweichungen als Drehzahlwert gerade eben der ideale Drehzahlsollwert ergibt.

Wegen der Verminderung der Schwingungsamplitude kann auf die aufwendige Verstärkung des Schiffskörpers im Bereich von kritischen, anhand der Finite-Elemente-Methode berechneten Stellen verzichtet werden. Hieraus ergibt sich eine bedeutende Reduzierung des Rechen- und Konstruktionsaufwandes, sowie eine erhebliche Materialersparnis und eine Verkürzung der Montagezeit.

Die Filtermittel zum Unterdrücken der Schwingungen im Schiffsrumpf aufgrund der Inhomogenitäten beim Umlaufen des Schiffspropellers 4 können auch mit einem klassischen Tiefpass unterdrückt werden. Zweckmäßigerweise wird hierbei die Grenzfrequenz des Tiefpasses abhängig von der Drehzahl des Propellerwelle 17 nachgeführt.

Dadurch soll erreicht werden, dass auch niederfrequente Anteile bei niedrigen Propellerdrehzahlen unterdrückt werden, ohne dass die Regelungsdynamik hierdurch bei hohen Drehzahlen beeinträchtigt wird. Immerhin durchläuft die Drehzahl des Schiffspropellers 4 mehr als zwei Zehnerpotenzen. Eine feste Grenzfrequenz reicht unter Umständen nicht aus. Um einen solchen Tiefpass zu realisieren, bietet sich eine digitale Lösung an, wobei die Filterung mit Hilfe einer Faltungsfunktion mit geeigneter Grenzfrequenz durchgeführt wird.

Anstatt im Frequenzbereich zu filtern, kann die Welligkeit auch unterdrückt werden, indem im Amplitudenbereich gefiltert wird. In Fig. 3 ist schematisch das Signal veranschaulicht, das ohne Filterung am Ausgang des PI-Reglers 10 ansteht. Es setzt sich wie gezeigt aus einem stationären Anteil und der bereits mehrfach erwähnten überlagerten Welligkeit zusammen.

Die Filterung geschieht, indem mit Hilfe eines Mikroprozessors und des darin enthaltenen Programms eine untere Grenze 39 ermittelt wird, die unterhalb der Täler der Schwingungsamplitude der Welligkeit liegt. Passend zu dieser unteren Grenze 39 wird eine obere Grenze 40 festgelegt, die einen gewissen Sicherheitsabstand von den Scheiteln der Welligkeit zeigt. Solange das ankommende Signal zwischen diesen beiden Schranken 39 und 40 liegt, wird ein vorher festgelegter Mittelwert beispielsweise der Mittelwert zwischen den Schranken 39 und 40 an den Steuereingang 12 weitergeleitet. Erst wenn wegen einer Verstellung des Fahr-

hebels 1 eine größere Abweichung zustande kommt, die eine der Grenzen oder Schranken 39, 40 übersteigt, geschieht ein entsprechendes Nachregeln.

Eine derartige Amplitudenfilterung lässt sich besonders einfach auf einen Mikroprozessor realisieren. Es ist jedoch auch möglich, hierfür eine nichtlineare Verstärkungskennlinie auszunutzen, wie sie beispielsweise eine Diode zeigt. Ein ein solches Amplitudenfilter wird zweckmäßigerweise zwischen dem Summationsknoten 9 und dem Eingang des Proportionalreglers 33 untergebracht.

Aufgrund der nichtlinearen Übertragungsverhältnisse, wird die Welligkeit in der Nullumgebung unterdrückt, während große Signale durchgelassen werden.

Fig. 4 zeigt das stark schematisierte Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Schiffsantriebsystems, bei dem zweite Filtermittel 41 verwirklicht sind, die dazu dienen die mögliche Dynamik aus Stelleinrichtung und Propellermotor an die mögliche und zulässige Fahrdynamik des Schiffspropellers 4 anzupassen. Damit werden bei Beschleunigungsvorgängen Kavitationserscheinungen am Schiffspropeller unterdrückt.

Soweit in diesem Blockschaltbild bereits vorher erläuterte Funktionsgruppen auftreten, werden diese nicht erneut beschrieben und es wird für diese Funktionsgruppen die Bezugszeichen aus den vorherigen Figuren verwendet. Aus Gründen der Vereinfachung wurden die ersten Filtermittel und die Kompensationsschaltung in Fig. 4 weggelassen.

Zu den zweiten Filtermitteln 41 des Schiffsantriebsystems nach Fig. 4 gehört ein Hochlaufgeber 42. Der Hochlaufgeber 42 liegt in der Verbindungsleitung 7, die den Fahrhebel 1 mit dem Sollwerteingang 8 des Summationskontens 9 verbindet. Die zweiten Filtermittel 41 liegen somit in dem Führungsgrößenkanal.

Bestandteil der zweiten Filtermittel 41 ist ferner ein Kennliniengeber 43, der an einen Steuereingang 44 des Hochlaufgebers 42 über eine Leitung 45 angeschlossen ist. Eingangsseitig ist der Kennliniengeber 43 mit dem Ausgang einer Schaltungsbaugruppe 46 verbunden, die eingangsseitig das Drehzahlsignal aus der Verbindungsleitung 13 erhält. Die Schaltungsbaugruppe 46 dient dazu, den Betrag des Drehzahlsignals zu erzeugen.

Die zweiten Filtermittel 41 haben den Zweck, die Änderungsgeschwindigkeit des Sollwertsignals, wie es von dem Fahrhebel 1 kommt, auf solche Werte zu begrenzen, bei denen sichergestellt ist, dass der Schiffspropeller weder Schaum schlägt noch zur Kavitation neigt. Gleichgültig wie schnell der Fahrhebel 1 im Sinne des Beschleunigens verstellt wird, ändert sich der Sollwert an dem entsprechenden Eingang des Summationsgliedes 9 nur mit einer geringeren Geschwindigkeit.

Ein solches Filtermittel lässt sich bevorzugt mikroprozessorbasiert herstellen. Um die gewünschte Begrenzung zu erreichen kann beispielsweise das von dem Fahrhebel 1 kommende Signal differenziert, gemäß dem Kennliniengeber 43 begrenzt und anschließend wieder integriert werden, um das Grundsignal zu erhalten, das jetzt jedoch in der Anstiegsgeschwindigkeit verändert ist.

Der Kennliniengeber 43 erhält deswegen ein drehzahlabhängiges Signal, weil die Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit also die Hochlaufzeit von der Drehzahl des Schiffspropellers 4 abhängig ist. Der Betrag der Istzahl der Propellerwelle 17 dient als Führgröße für den adaptiven Kennliniengeber 43 und damit indirekt als Führungsgröße für die Anstiegsgeschwindigkeit des an die Regeleinrichtung 2 weitergeleiteten Sollwertsignals.

Fig. 5 zeigt den Verlauf der Kennlinie der zweiten Filtermittel 41. Wie hieraus zu ersehen ist, ist die Kennlinie stetig, d. h. frei von Sprüngen und wird durch einen Polygonzug

angenähert. Die Kennlinie 47 für den Normalbetrieb setzt sich aus drei Abschnitten 48, 49 und 50 zusammen, die über der Istdrehzahl des Schiffspropellers 4 aufgetragen sind.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel erstreckt sich der untere Istdrehzahlbereich 48 von 0 bis 46 U/min (bis ca. 1/3 Nenndrehzahl), der mittlere Istdrehzahlbereich 49 von 46 bis 70 U/min (bis ca. halbe Nenndrehzahl) und der obere Istdrehzahlbereich 47 von 70 bis 150 U/min (bis Maximaldrehzahl).

Wie aus Fig. 5 hervorgeht, ist in dem Kennliniengeber 43 für den adaptiven Hochlaufgeber 42 für den niedrigen Istdrehzahlbereich 48 des elektrischen Propellermotors 3, der beispielsweise dem Bereich zwischen 0 und 1/3 der Nenndrehzahl entsprechen kann, eine konstante, kurze Hochlaufzeit in Sekunden je U/min vorgegeben. Der elektrische Propellermotor 3 und damit der Schiffspropeller 4 können in diesem Manöverbereich mit hoher Dynamik arbeiten.

Für den in Fig. 5 mittleren Istdrehzahlbereich 49 des elektrischen Propellermotors 3, der ungefähr zwischen 1/3 und der Hälfte der Nenndrehzahl des elektrischen Propellermotors 3 liegt, steigt die Hochlaufzeit mit einer vergleichsweise kleinen Steigung an. Zwischen den beiden Grenzen dieses mittleren Istdrehzahlbereichs 49 gleitet der Kennliniengeber 43 des adaptiven Hochlaufgebers 42 in den Fahrmodus über, der dem höheren Istdrehzahlbereich 47 des elektrischen Propellermotors 3 entspricht. Dort steigt die Hochlaufzeit mit zunehmender Istdrehzahl des elektrischen Propellermotors 3 mit einer höheren Steigung an als im mittleren Istdrehzahlbereich 49. Hierbei ordnet der Kennliniengeber 43 des zweiten Filtermittels 41 eine noch höhere Hochlaufzeit zu. Die drehzahlabhängige Hochlaufzeit ermöglicht es, den elektrischen Propellermotor 3 frei von einer Stromgrenze gleichmäßig zu beschleunigen. Damit ergibt sich eine kontinuierliche Schiffsbeschleunigung wie sie in Fig. 6 gezeigt ist. Die Beschleunigungskurve zeigt keine Einbrüche.

Für Abbremsvorgänge ist es vorteilhaft, wenn in dem zweiten Filtermittel 41 eine konstante Rücklaufzeit, die z. B. 0,2 s je U/min betragen kann, vorgebar ist.

Über die Ausgestaltung der Kennlinie 47 ist die Beschleunigung des elektrischen Propellermotors 3 und damit auch die des Schiffspropellers 4 frei einstellbar. Hydrodynamisch gesehen ergibt sich dabei der wesentliche Vorteil, das durch eine optimal Anpassung der Beschleunigung im höheren Drehzahlbereich bzw. Fahrmodus 47 der Arbeitspunkt des Schiffspropellers 4 günstig beeinflussbar wird. Damit kann der Arbeitspunkt des Schiffspropellers 4 auch beim Beschleunigen aus Bereichen mit unerwünschter oder sogar schädlicher Kavitation herausgehalten werden. Das ist ein wesentlicher wirtschaftlicher Vorteil, weil Kavitationen am Schiffspropeller 4 zu erheblichen Geräuschen führen, die den Nutzwert besonders von Passagierschiffen, Forschungsschiffe und militärischen Schiffen erheblich reduzieren.

In dem Kennliniengeber 43 des zweiten Filtermittels 41 können unterschiedliche Kennlinien für die Hochlaufzeit abgespeichert sein. So ist beispielsweise in Fig. 5 eine Kennlinie 51 für ein Notmanöver in dem Bereich teilweise gestrichelt dargestellt, die sie sich von der Kennlinie 47 für den Normalbetrieb unterscheidet. Durch die Einschaltung der Kennlinie 51 für Notmanöver zum Beispiel mittels der Betätigung eines Knopfes an dem Kennliniengeber 43 kann eine schneller Beschleunigung freigegeben werden. Die Hochlaufzeit des durch die erfindungsgemäße Antriebseinrichtung angetriebene Schiffes auf die Maximalgeschwindigkeit desselben kann somit z. B. auf die Hälfte reduziert werden, wobei die Kennlinie 51 für das Notmanöver ausschließlich technisch bedingte Grenzwerte berücksichtigt. Dagegen gehen beispielsweise bei der Ausgestaltung der Kennlinie 47 weitere Gesichtspunkte ein, wobei im Allge-

meinen bei der Auslegung dieser Kennlinie ein Kompromiss zwischen ausreichenden Manövereigenschaften des Schiffes und schonender Fahrweise der gesamten Maschinenanlage gewählt wird. Es ist eine Optimierung in Bezug auf unterschiedliche Zielfunktionen wie minimalen Treibstoffbedarf, minimalen Zeitverbrauch, hohe Manövrierfähigkeit des Schiffes etc. möglich.

Ein alternativer Verlauf des Abschnitts 48 der Kennlinie 47 in dem Kennliniengeber 43 des zweiten Filtermittels 41 ist eine leichte Steigung, die aber geringer ist als die Steigung des Abschnitts 49.

Denkbar ist es auch, die in dem Kennliniengeber 43 mit steigender Drehzahl des Propellermotors 3 quadratisch ansteigen zu lassen und zusätzlich um einen konstanten Offset leicht anzuheben, damit sich bei kleinen Drehzahlen des Propellermotors 3 bereits eine kurze Hochlaufzeit einstellt. Eine weitere Alternative ist es, die Schaltungsbaugruppe 46 des zweiten Filtermittels entfallen zu lassen und den Kennliniengeber 43 um den negativen Drehzahlbereich des Propellermotors zu erweitern.

Sofern ein Schiff mit zwei vorstehend geschilderten erfindungsgemäßen Antriebseinrichtungen ausgerüstet ist, wird mittels der adaptiven Hochlaufgeber 42 die Lastverteilung zwischen den beiden Propellerwellen 17 der elektrischen Propellermotoren 3 gesteuert. Die Propellerwelle 17 mit der geringeren Lastaufnahme hat dabei eine etwas geringere Istdrehzahl als die Propellerwelle 17 mit der höheren Lastaufnahme. Im höheren Istdrehzahlbereich 50, d. h. im Bereich des Fahrmodus des elektrischen Propellermotors 3 bzw. der elektrischen Propellermotoren 3 beschleunigt der adaptive Hochlaufgeber 42 mit dem kleineren Drehzahlwert immer schneller als der adaptive Hochlaufgeber 42 mit dem höheren Drehzahlwert. Aufgrund dieses Verhaltens stellt sich während eines Beschleunigungsvorganges des Schiffes eine gleichmäßige Lastverteilung zwischen den beiden Propellerwellen 17 quasi automatisch ein. Hierdurch wird beim Beschleunigen eine höhere Kursstabilität erreicht.

Durch das Verhalten des zweiten Filtermittels 41 der erfindungsgemäßen Antriebseinrichtung ist es möglich, auf ein stationäres Lastmoment ein definierbares Beschleunigungsmoment zu geben. Dieses definierbare Beschleunigungsmoment bleibt im Bereich des Fahrmodus, d. h. im Bereich des höheren Istdrehzahlbereichs 47 des elektrischen Propellermotors 3 einigermaßen konstant und damit frei von zeitweise unnötig hohen Werten. Im Zusammenwirken mit den bereits oben beschriebenen ersten Filtermitteln und einer Nachführung des zweiten Filtermittels 41 wurde hierdurch unter anderem die Neigung des Schiffspropellers 1 zum Kavitiere oder zum Schaumschlagen verhindert.

Geeignete Schaltungen zum Nachführen des in dem zweiten Filtermittel 41 enthaltenen Hochlaufgebers 42 durch den Drehzahlregler sind aus dem Stand der Technik bekannt. Aus Gründen der Vereinfachung sind sie in der Figur nicht dargestellt.

Fig. 7 zeigt das stark schematisierte Blockschaltbild eine erfindungsgemäßen Schiffsantriebssystems, bei dem dritte Filtermittel 55 verwirklicht sind, die dazu dienen, die mögliche Dynamik aus Stelleinrichtung und Propellermotor an die mögliche und zulässige Dynamik der Generatoranlage anzupassen. Damit werden Spannungs- und/oder Frequenzschwankungen im Bordnetz bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen unterdrückt.

Soweit in diesem Blockschaltbild bereits vorher erläuterte Funktionsgruppen auftreten, werden diese nicht erneut beschrieben und es wird für diese Funktionsgruppen die Bezugszeichen aus den vorherigen Figuren verwendet. Aus Gründen der Vereinfachung wurden die ersten und zweiten Filtermittel und die Kompensationsschaltung in Fig. 7 weg-

gelassen.

Das Bordnetz 5 wird aus einer Dieselgeneratoranlage 56 mit vier Dieselgeneratoren 57 . . . 61 gespeist. Die Generatoren sind dabei üblicherweise Dreiphasen-Synchrongeneratoren.

Die dritten Filtermittel 55 umfassen eine Begrenzungsschaltung 62, die zwischen dem Ausgang des Reglers 10 und dem Steuereingang 12 der Stelleinrichtung 6 liegt.

Der Zweck der Begrenzungsschaltung 62 besteht darin, amplitudenabhängig ein Größer- oder Kleinerwerden des Ausgangssignals des Reglers 10 freizugeben oder eine zu schnelle Anstiegsgeschwindigkeit zu begrenzen. Die Begrenzungsschaltung 62 weist zwei Steuereingänge 63 und 64, die an eine obere und eine untere Grenzwertstufe 65 und 66 angeschlossen sind. Die obere und die untere Grenzwertstufe legen über die Steuereingänge 63 und 64 fest, mit welcher Geschwindigkeit sich das Signal nach oben bzw. nach unten verändern kann und sie haben drüber hinaus die Eigenschaft eine Amplitudenfenster zu definieren.

Solange sich die Änderung des Ausgangssignals des Reglers 10 hinsichtlich der Amplitude innerhalb dieses Fensters bewegt, wird die Änderungsgeschwindigkeit durch die Begrenzungsschaltung 62 nicht beeinflusst. Die Begrenzungsschaltung 62 greift erst dann ein, wenn sich das Ausgangssignal des Reglers 10 in der Amplitude stärker ändert als es durch die beiden Grenzwertstufen 65 und 66 festgelegt ist.

Die Mitte und die Größe des Amplitudenfensters, das durch die beiden Grenzwertstufen 65 und 66 festgelegt wird, sind nicht starr, weshalb die beiden Grenzwertstufen 65 und 66 Steuereingänge 67, 69 aufweisen. Die Steuereingänge 67, 69 sind an einem Ausgang eines Kennliniengabers 72 mit zwei Steuereingängen 73 und 74 angeschlossen, über die die Hoch- und die Rücklaufzeit festgelegt werden. Der Eingang 74 ist über eine entsprechende Leitung mit dem Steuereingang 12 verbunden und bekommt so eine Information über den momentanen Wert der Führungsgröße, die in die Stelleinrichtung 6 gelangt.

Der Eingang 73 ist mit einem Ausgang eines weiteren Kennliniengabers 75 verbunden, in den einerseits der Betrag des Drehzahlsignals, wie es aus der Schaltungsbaugruppe 45 kommt, und andererseits ein Steuersignal aus einer Logikschaltung 76 eingespeist wird. Die Logikschaltung 76 ist über Steuerleitung 77 mit Schaltern 78, 79, 81 und 82 verbunden, über die die einzelnen Generatoren 57 . . . 61 auf das Bordnetz 5 geschaltet werden. Der Kennliniengaber 75 legt die Hoch- und die Rücklaufzeit für den Hochlaufgeber 72 fest.

Die Größe des Amplitudenfensters, das ebenfalls durch die beiden Grenzwertstufen 65 und 66 festgelegt wird, ist nicht starr, weshalb die beiden Grenzwertstufen 65 und 66 Steuereingänge 98, 99 aufweisen. Die Steuereingänge 98, 99 sind mit einem Ausgang eines weiteren Kennliniengabers 97 verbunden, in den einerseits der Betrag des Drehzahlsignals, wie es aus der bereits oben beschriebenen Schaltungsbaugruppe 45 kommt, und andererseits ein Steuersignal eingespeist werden, wie es von der bereits oben beschriebenen Logikschaltung 76 zur Verfügung gestellt wird.

Die Grenzwertstufe 65 ist zweckmäßigerweise ein Addierer und die Grenzwertstufe 66 ein Subtrahierer. Der Ausgang des Hochlaufgebers 72 bildet den stationären Zustand drehmomentbildenden Steuersignals, wie es in den Steuereingang 12 der Stelleinrichtung 6 gelangt, ab. Der Ausgang des Kennliniengabers 97 bildet den bezogen auf den stationären Zustand im jeweiligen Betriebspunkt zulässigen maximalen Signalsprung des drehmomentbildenden Steuersignals, wie es in den Steuereingang 12 der Stelleinrichtung 6 gelangt, ab.

Die dritten Filtermittel 55 legen somit die zulässige Än-

derungsgeschwindigkeit, mit der sich das Sollwertsignal für die Stelleinrichtung 6 und damit Drehzahl des oder der Propellermotoren 3 verändern kann, fest, und zwar in Abhängigkeit von der Drehzahl des Propellermotors 3, der Anzahl und der Belastung der auf das Bordnetz 5 geschalteten Dieselgeneratoren gelangt.

In Verbindung mit den Grenzwertstufen 65 und 66 erfolgt eine zeitliche Veränderung, d. h. eine Einflussnahme auf die Signalsänderungsgeschwindigkeit, jedoch nur dann, wenn die Signaländerung einen in den Grenzwertstufen festgelegten Betrag übersteigt. Auch dieses so gebildete Fenster, ist von der Anzahl der auf das Bordnetz 5 geschalteten Dieselgeneratoren 57 . . . 61, der Drehzahl des Propellermotors 3 und der Größe des Steuersignals für die Stelleinrichtung 6 abhängig.

Auf diese Weise wird die zeitliche Änderung der Leistungsabnahme durch den oder die Propellermotoren 3 auf Werte beschränkt, denen die Dieselantriebe der Dieselgeneratoren 57 . . . 61 und/oder die Felderregung der Synchrongeneratoren folgen kann, ohne dass es zu überhöhten Spannungsschwankungen und/oder Frequenzschwankungen in dem Bordnetz 5 kommt.

Damit das Schiff gut manövrierbar bleibt und auch keinerlei Regelschwingungen auftreten, ist allerdings ein Amplitudenbereich des Signals, der um den Momentanwert des Steuersignals an dem Eingang 12 herumliegt, von Begrenzung der Anstiegs- bzw. Abfallgeschwindigkeit unbeeinflusst. Andernfalls bestünde die Gefahr, dass die durch die Regelung des Antriebs verursachte Änderung des Momentanwertes aufgrund der Begrenzungsgeschwindigkeit zu Regelschwingungen und damit zu Schwebungen im Antrieb führt.

Mit den dritten Filtermitteln werden somit eine Hoch- und Rücklaufzeit für die Führungsgröße, die in den Steuereingang 12 gelangt, vorgegeben. Bei der Bemessung dieser Zeiten, wird die zulässige zeitliche Be- und Entlastung der Dieselmotoren der Dieselgeneratoranlage berücksichtigt. Um dem Rechnung zu tragen ändert sich die in dem dritten Filtermittel 55 festgelegte Hoch- und Rücklaufzeit proportional mit dem Betrag der Drehzahl des Propellermotors 3. Die Zeiten ändern sich gegebenenfalls auch entsprechend der aktuellen Belastung der Dieselmotoren der Generatoranlage.

In Fig. 8 ist eine Kennlinie 83 gezeigt, die mit dem Kennliniengaber 75 verwirklicht wird, wenn lediglich ein einziger Dieselgenerator an dem Bordnetz 5 angeschaltet ist.

Wie zu erkennen ist, ist in einem unteren Drehzahlbereich des elektrischen Propellermotors, der etwa den Manövrierbereich entspricht, d. h. bei ca. 1/3 Nenndrehzahl endet, eine minimale Hoch- und Rücklaufzeit festgelegt (horizontaler gerader Abschnitt). Diese Hoch- und Rücklaufzeit richtet sich nach der zulässigen zeitlichen Änderung der Blindleistungsabgabe des Synchrongenerators des eingeschalteten Dieselgenerators. Mit steigender Drehzahl des Propellermotors 3 sinkt die Änderungsgeschwindigkeit, d. h. die zulässige Zeit, innerhalb derer sich die Leistungsaufnahme oder Abgabe der Dieselmotoren der Generatoranlage ändern kann, wird größer, was der ansteigende Ast der Kurve 83 in Fig. 8 erkennen lässt.

Wenn zwei Dieselgeneratoren das Bordnetz 5 speisen, kommt eine Kurve 84 zur Anwendung. Diese Kurve liegt, wie Fig. 8 erkennen lässt unterhalb der Kurve 83, d. h. es sind schnellere Leistungsänderungen sowohl in dem horizontalen Teil der Kurve als auch im ansteigenden Teil möglich.

Wenn noch mehr Generatoren zugeschaltet sind, gelten die Kurven 85 beziehungsweise 86 für drei beziehungsweise vier gleichzeitig eingeschaltete Dieselgeneratoren

57 ... 61.

Selbstverständlich wird es in aller Regel nicht zweckmäßig sein, den Fahrbetrieb von Anfang an mit allen Dieselgeneratoren 57 ... 61 zu beginnen. Wenn die Dieselgeneratoren 57 ... 61 nacheinander zugeschaltet werden, abhängig von der Drehzahl des Propellermotors 3, d. h. abhängig von der Gesamtleistungsaufnahme des Schiffsantriebes, ergibt sich ein Verlauf der zulässigen zeitlichen Leistungsänderung gemäß Fig. 9.

Der linke horizontale Abschnitt, einschließlich dem linken ansteigenden Ast mit dem Bezugszeichen 87, entspricht dem entsprechenden Teil der Kurve 84 mit lediglich zwei Dieselgeneratoren. Ab einer bestimmten Drehzahl, die einer entsprechenden Leistungsaufnahme entspricht, wird ein dritter Dieselgenerator zugeschaltet, womit die zeitliche Änderung der Leistungsaufnahme durch eine Kurve 88 festgelegt ist, in die die Kurve 87 sprunghaft übergeht. Bei noch stärkerer Leistungsaufnahme wird schließlich noch der vierte Dieselgenerator zugeschaltet, womit die Leistungsänderung gemäß einer Kurve 89 erfolgen kann.

Die zulässige zeitliche Änderung der Führungsgrößen, wie sie an dem Eingang 12 auftritt, hat einen etwa sägezahnförmigen Verlauf und wird durch das Zuschalten von Dieselgeneratoren auch im hohen Leistungsbereich näherungsweise auf einem Wert gehalten, wie er dem Manövrieren mit nur zwei aktiven Dieselgeneratoren entspricht.

Im quasi stationären Zustand muss der Regler 10 in der Lage sein, den an die Stelleinrichtung 6 weiterzugebenden Sollwert frei von irgendwelchen Begrenzungen führen zu können. Andernfalls entstehen, wie oben bereits erwähnt, im elektrischen Propellermotor 3 erhebliche Schwebungen, die sich im Schiff als mechanische Schwingungen auswirken können. Sie können außerdem Kavitationen an dem Schiffspropeller 4 fördern oder auslösen. Die Begrenzung der zeitlichen Änderungsgeschwindigkeit ist deshalb innerhalb des vorerwähnten Amplitudenfensters unwirksam gemacht.

Wenn die Amplitudenänderung unabhängig von der Änderungsgeschwindigkeit innerhalb dieses Fenster bleibt, greifen die dritten Filtermittel 55 nicht ein. Da der Regler 10 und somit auch die Stelleinrichtung 6 für diesen Bereich mit ihrer vollen Dynamik arbeitet, kann es in dem Bordnetz 5 zu Spannungsschwankungen kommen, weil die Erregung der Synchrongeneratoren der Dieselgeneratoranlage 56 nicht schnell genug folgen kann. Die Stelleinrichtung 6, die wie zuvor erwähnt als Um- bzw. Stromrichter arbeitet, erzeugt einen Blindstrom, der zu Spannungsschwankungen infolge des Blindwiderstands der Synchrongeneratoren führt. Die Größe des Fensters wird deswegen so eingestellt, dass der aufgrund der Leistungsänderungen resultierende und in das Bordnetz fließende Blindstrom an der Reaktanz der eingeschalteten Generatoren eine Spannungsabfall erzeugt, der in jedem Fall innerhalb der zulässigen Spannungstoleranz des Bordnetzes 5 liegt. Sehr schnelle Spannungsschwankungen innerhalb der zulässigen Spannungstoleranz des Bordnetzes 5 sind für dessen Betrieb unkritisch.

Den Abstand, den der untere bzw. der obere Rand des Fensters von dem Momentanwert des Sollwertes an dem Steuereingang 12 aufweist, ist eine Funktion des Betrages der Drehzahl des Propellermotors 3, weil der bordnetzseitige Leistungsfaktor von der Aussteuerung der jeweiligen Stelleinrichtung 6 abhängt. Des Weiteren ist die Größe des Fensters proportional zu der Anzahl der das Bordnetz 5 speisenden Synchrongeneratoren der Dieselgeneratoranlage 56. Der Grund hierfür besteht in der größeren Kurzschlussleistung im Bordnetz, die sich wiederum aus der kleineren Reaktanz der parallelgeschalteten Synchrongeneratoren ergibt.

In Fig. 10 ist der Variationsbereich des Fensters für den

Sollwert an dem Steuereingang 12 für den Fall dargestellt, dass die Stromaufnahme des Propellermotors 3 von der Drehzahl unabhängig ist. Das kleinste Fenster, das zwischen den beiden Kurvenzüge 91 festgelegt ist, gilt für den Fall nur eines an dem Bordnetz liegenden Dieselgenerators. Ein etwas größeres Fenster entsprechend zwei Kurven 92 ergibt sich bei zwei Dieselgeneratoren, während sich das Fenster entsprechend dem Abstand der beiden Kurven 93 bei zwei Dieselgeneratoren bis hin zu einem Fenster entsprechend der Kurven 94 erweitert, wenn insgesamt vier Dieselgeneratoren das Bordnetz 5 speisen.

Fig. 11 veranschaulicht schematisch die Breite des Fensters bei veränderlicher Antriebsleistung in Abhängigkeit von der Drehzahl des Propellermotors 3. Die Breite des Fensters wird durch zwei gestrichelte Kurven 95 repräsentiert.

Die Kurven beginnen bei niedriger Drehzahl mit zwei eingeschalteten Dieselgeneratoren. An der ersten Sprungstelle von links kommend, wird ein weiterer Dieselgenerator, während rechts von der zweiten Sprungstelle, vier Dieselgeneratoren wirksam sind.

Des weiteren kann es zweckmäßig sein, wenn die Hoch- und die Rücklaufzeit des Sollwerts an dem Steuereingang 12 in Abhängigkeit vom Betriebszustand der das Bordnetz mit elektrischer Energie speisenden Dieselgeneratoranlage verändert wird, wobei unterschiedliche Dieselgeneratoren der Dieselgeneratoranlage sich in unterschiedlichen Betriebszuständen befinden können.

Die spezielle Anordnung des dritten Filters 55 an dem Ausgang des Reglers 10 unterdrückt auch zu schnelle Regelvorgänge, die nicht durch die Verstellung des Fahrhebels 1 sondern durch Laständerungen an dem Schiffspropeller 4 verursacht werden. Laständerungen entstehen, wenn Ruder gegeben wird oder das Ruder in die Nulllage zurück gefahren wird. Die Laständerungen haben Drehzahländerungen zur Folge, die ausgegletet werden müssen und zu unterschiedlicher Leistungsentnahme führen. Der Regler 10 an sich ist sehr schnell und würde ohne die Begrenzung durch das dritte Filter 55, das Bordnetz gegebenenfalls überfordern.

Es versteht sich, dass die drei beschriebenen Filtermittel in beliebiger Kombination miteinander eingesetzt werden können.

Die Filter und die Regel- und Steuerkreise wurden oben in Form klassischer elektrischer Prinzipschaltbilder dargestellt, um das Verständnis zu erleichtern. Es versteht sich jedoch, dass in der praktischen Ausführung die Filter und die Regel- und Steuerkreise überwiegend in Form von Programmen oder Programmabschnitten realisiert sind. Die Art der Darstellung soll keine Beschränkung auf die spezielle Art der praktischen Umsetzung bedeuten, denn dem Fachmann ist klar wie Filter und Regler digital als Programme auszuführen sind. Die digitale Umsetzung hat vor allen Dingen Vorteile bei Regelungen mit langen Zeitkonstanten oder veränderlichen Zeitkonstanten.

Ein Schiffsantriebssystem besteht aus einem elektrischen Bordnetz und einem daraus gespeisten elektrischen Antriebssystem weist eine unterlagerte Regelung für den Propellermotor auf. Die Drehzahl des Propellermotors wird über einen übergeordneten Regler vorgegeben, dessen Führungsgröße von dem Fahrhebel kommt. Um Beeinträchtigungen des Schiffsbetriebes aufgrund der zu hohen Dynamik des Antriebssystems zu unterdrücken, sind Filtermittel enthalten.

#### Patentansprüche

1. Schiffsantriebssystem für ein ein elektrisches Bordnetz (5) aufweisendes Schiff,



mit einer einen Fahrhebel (1) aufweisenden Fahrhebelanordnung, die an ihrem Ausgang (7) ein der Stellung des Fahrhebels (1) entsprechendes Fahrhebelsignal abgibt,  
mit einer Strom-/Spannungsquelle (56) zum Erzeugen von elektrischer Energie,  
mit einer elektrischen Stelleinrichtung (6), die einen Leistungseingang, einen Leistungsausgang (19) und einen Steuereingang (12) aufweist, wobei der Leistungseingang mit der Strom/Spannungsquelle (5) verbunden ist,  
mit einem einen Schiffspropeller (4) antreibenden elektrischen Propellermotor (3), der an den Leistungsausgang (19) der Stelleinrichtung (6) angeschlossen ist, mit einem Drehzahlsensormittel (14), das ein der Drehzahl des Schiffspropellers (4) entsprechendes Drehzahlsignal abgibt,  
mit einer Reglereinrichtung (2), die einen Reglerausgang (11), einen Sollwerteingang (8) und einen Istwerteingang (13) aufweist, wobei in den Sollwerteingang (8) das Fahrhebelsignal und in den Istwerteingang (13) das Drehzahlsignal eingespeist werden und der Reglerausgang (11) mit dem Steuereingang (12) der Stelleinrichtung (6) in Verbindung steht, und  
mit Filtermitteln (2, 36, 41, 55), die dazu eingerichtet sind, Beeinträchtigungen des Schiffsbetriebs verursachende zeitliche Änderungen von Momentanwerten der elektrischen Energie zu unterdrücken, das die Stelleinrichtung (6) an den Propellermotor (3) abgibt.

2. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Momentanwert der Wert einer Gleichspannung oder des Effektivwertes einer Wechselspannung ist.

3. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Momentanwert die Frequenz einer Wechselspannung ist.

4. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Störungen Schwingungen im Schiffsrumpf sind, die durch Drehmomentschwankungen des Propellermotors (3) hervorgerufen sind.

5. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Störungen Spannungsüberhöhungen oder Frequenzschwankungen in dem Bordnetz (5) sind, die durch zu schnelle Verstellung des Fahrhebels (1) im Sinne einer Drehzahlverminderung des Propellermotors (3) hervorgerufen sind.

6. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Störungen Spannungsüberhöhungen, Spannungseinbrüche oder Frequenzschwankungen in dem Bordnetz (5) sind, die durch Laständerungen an dem Propeller (4) hervorgerufen werden, deren Ursache Ruderbewegungen, Änderungen der Propellersteigung oder, bei Schiffen mit weiteren Antriebssträngen, Änderungen der Drehzahl eines anderen Antriebsstrangs sind.

7. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Störungen von fahrgeschwindigkeitsabhängigen Änderungen der Dynamik des Schiffspropellers (4) gebildet sind.

8. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filtermittel (2, 36, 41, 55) erste Filtermittel umfassen, dazu eingerichtet sind, Amplitudenschwankungen des Signals an dem Steuereingang (12) unterdrücken, wenn die Frequenz der Amplitudenschwankungen über und/oder die Amplitude der Amplitudenschwankungen unter einer vorgegebenen Grenze liegt.

9. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch

gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel Amplitudenfiltermittel sind.

10. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel Frequenzfiltermittel sind.

11. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel dem Istwerteingang (17) vorgeschaltet sind, derart, dass das Istwertsignal über die ersten Filtermittel zugeführt wird.

12. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel zwischen dem Reglerausgang (11) und dem Steuereingang (12) angeordnet sind.

13. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel (36) in der Reglereinrichtung (2) integriert sind.

14. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel adaptiv ausgebildet sind, derart, dass der jeweiligen Filterkennwert von der Drehzahl des Schiffspropellers (4) abhängig ist.

15. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Filtermittel einen Filtermittelsteuereingang aufweisen, in den das Drehzahlsignal eingespeist wird.

16. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reglereinrichtung (2) eine PI-Charakteristik aufweist.

17. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reglereinrichtung (2) und/oder die ersten Filtermittel digital oder analog oder gemischt analog/digital arbeitend aufgebaut sind.

18. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reglereinrichtung (2) und/oder die Filtermittel im Form eines Programms in einem Mikroprozessor/Mikrocontroller realisiert sind.

19. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reglereinrichtung (2) in Serie einen Proportionalregler (33), einen Integralregler (34) und ein Summationsglied (35) enthält, wobei ein Eingang des Proportionalreglers (33) einen Eingang bildet, in den die Regeldifferenz eingespeist wird, ein Ausgang des Proportionalreglers (33) an einen Eingang eines Integralreglers (34) angeschlossen ist und der Ausgang des Integralreglers (34) an Eingänge des Summationsgliedes (35) angeschlossen sind, dessen Ausgang den Reglerausgang bildet und der zu dem Eingang des Proportionalreglers (33) zurückgekoppelt ist.

20. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückkoppelung (36) derart eingestellt ist, dass sich bei Nennlast eine statische Regelabweichung von etwa 0,2% bis 2% ergibt.

21. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die statische Regelabweichung durch einen korrigierten Sollwert  $n^*$  kompensiert wird.

22. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Sollwertkompensation  $n_L^*$  abhängig von der geschätzten Belastung erfolgt.

23. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Belastung nach einer Kennlinie aus dem nicht kompensierten Drehzahlsollwert oder insbesondere aus dem Drehzahlwert ermittelt wird.

24. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (6) als Regler ausgeführt ist, dessen Sollwerteingang den Steuer-

eingang (12) der Stelleinrichtung (6) bildet.

25. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (6) an ihrem Leistungsausgang (19) eine Gleichspannung abgibt, deren Wert von der Stellung des Fahrhebels (1) abhängig ist. 5

26. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (6) an ihrem Leistungsausgang (19) eine Wechselspannung abgibt, deren Frequenz von der Stellung des Fahrhebels (1) abhängig ist. 10

27. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stelleinrichtung (6) derart gestaltet ist, dass über das Signal an dem Steuereingang (12) der Strom eingestellt wird, den die Stelleinrichtung (6) an den Propellermotor (3) abgibt. 15

28. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filtermittel (41) zweite Filtermittel (41) umfassen, die als gesteuerter Hochlaufgeber ausgeführt sind, derart, dass sie als Funktion einer Kennlinie (47) die Hochlaufzeit, innerhalb der die Drehzahl des Propellermotors (3) der Verstellung des Fahrhebels (1) im Sinne einer Beschleunigung folgt, vorzugsweise abhängig von der Drehzahl des Propellermotors (3) festlegt. 20 25

29. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Kennlinie (47) stetig ist, in dem Sinne, dass die Kennlinie (47) frei von Sprüngen ist.

30. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Filtermittel (41) zwischen dem Fahrhebel (1) und dem Sollwerteingang (8) der Regeleinrichtung (2) liegen. 30

31. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Filtermittel (41) einen Steuereingang (44) aufweisen, in den das Drehzahl-signal eingespeist wird. 35

32. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass im Drehzahlbereich (48) zwischen 0 und etwa 1/3 der Nenndrehzahl die Hochlaufzeit konstant und kurz oder leicht ansteigend und kurz ist. 40

33. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass für einen Drehzahlbereich (49) des Propellermotors (3) oberhalb 1/4, vorzugsweise oberhalb 1/3 der Nenndrehzahl die Hochlaufzeit mit der Drehzahl des Propellermotors (3) stärker ansteigt. 45

34. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass für einen oberen Drehzahlbereich (50) des Propellermotors (3), der oberhalb der halben Nenndrehzahl liegt, die Hochlaufzeit mit der Drehzahl des Propellermotors (3) noch stärker ansteigt als für den darunter liegenden Drehzahlbereich. 50

35. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Filtermittel (41) digital oder analog oder gemischt digital/analog arbeitend aufgebaut sind. 55

36. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die in den zweiten Filtermitteln (41) vorgegebenen Rücklaufzeit in den Drehzahlbereichen (48, 49) des Propellermotors (3) bis 1/4, vorzugsweise 1/3 der Nenndrehzahl gleich oder kürzer und insbesondere im anschließenden Drehzahlbereich (50) des Propellermotors (3) wesentlich kürzer ist als die drehzahlabhängige Hochlaufzeit. 60 65

37. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die in den zweiten Filtermitteln (41) vorgegebenen Rücklaufzeit ist konstant oder wird

mit fallender Drehzahl des Propellermotors kürzer wird.

38. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die in den zweiten Filtermitteln (41) vorgegebenen Rücklaufzeit stetig ist, in dem Sinne, dass sie frei von Sprüngen ist.

39. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die in den zweiten Filtermitteln (41) vorgegebenen Rücklaufzeit ca. 0,2 s je U/min beträgt.

40. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filtermittel (2, 36, 41, 55) dritte Filtermittel (55) umfassen, die die Geschwindigkeit der Änderung der Leistungsaufnahme durch den Propellermotor (3) begrenzen.

41. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass die dritten Filtermittel (55) dazu eingerichtet sind, die Geschwindigkeit der Änderung der Ausgangsgröße der Regeleinrichtung (2) für die elektrische Stelleinrichtung (6) unter Berücksichtigung von Grenzwerten zu begrenzen, die von der das Bordnetz (5) mit elektrischer Energie speisenden Strom/ Spannungsquelle (56) abhängig sind.

42. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass die dritten Filtermittel (55) derart gestaltet sind, dass sie die Geschwindigkeit der Änderung der Ausgangsgröße in der einen Richtung, als Hochlaufzeit bzw. Hochlaufänderungsgeschwindigkeit bezeichnet, auf einen anderen Wert begrenzen als die Geschwindigkeit der Änderung der Ausgangsgröße in der anderen Richtung, als Rücklaufzeit bzw. Rücklaufänderungsgeschwindigkeit bezeichnet.

43. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest entweder der Wert für die Hochlaufzeit oder der Wert für die Rücklaufzeit, die durch die dritten Filtermittel (55) begrenzt ist bzw. sind, gleichsinnig mit der Änderung des Betrags, vorzugsweise proportional mit dem Betrag der Ist-Drehzahl des elektrischen Propellermotors (3) veränderbar ist.

44. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass in einem unteren Drehzahlbereich des elektrischen Propellermotors (3) bzw. des Schiffspropellers (4) die Hoch- und die Rücklaufzeit, die durch die dritten Filtermittel (55) vorgegeben sind, auf die zulässige zeitliche Änderung der Blindleistungsabgabe der Strom/Spannungsquelle (56), die das Bordnetz (5) speist, abgestimmt sind.

45. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Strom/Spannungsquelle wenigstens zwei Generatoren (57...61) aufweist und dass die Hochlaufzeit und/oder die Rücklaufzeit, die durch die dritten Filtermittel (55) vorgegeben sind, gegensinnig mit der Änderung der Anzahl und/oder Baugröße, vorzugsweise umgekehrt proportional zur Anzahl und/oder Baugröße der aktiven Generatoren veränderbar sind.

46. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochlaufzeit und/oder die Rücklaufzeit, die durch die dritten Filtermittel (55) vorgegeben sind, in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Strom/Spannungsquelle (56) veränderbar sind.

47. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die dritten Filtermittel (55) derart gestaltet sind, dass ein Fenster verwirklicht ist, innerhalb dessen die Begrenzung der Hochlaufzeit und/oder der Rücklaufzeit unwirksam ist.



48. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage des Fensters zumindest in einem Bereich der Ausgangsgröße der Regeleinrichtung (2) zu der Ausgangsgröße im wesentlichen symmetrisch liegt, derart, dass eine Begrenzung in beiden Richtungen bei etwa derselben Änderungsgeschwindigkeit auftritt. 5

49. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verwirklichung des Fensters das Ausgangssignal der Regeleinrichtung in einen Steuereingang (74) der dritten Filtermittel (55) zurückgeführt ist. 10

50. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe des Fensters so einstellbar ist, dass ein bordnetzseitiger Blindstrom, der aus der Änderungsgeschwindigkeit der Leistungsaufnahme des Propellermotors (3) resultiert, an einer Reaktanz der Strom/Spannungsquelle (56), vorzugsweise eines Synchrongenerators, einen Spannungsabfall erzeugt, der innerhalb der zulässigen Spannungstoleranz des Bordnetzes (5) liegt. 15 20

51. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass die Strom/Spannungsquelle (56) wenigstens zwei Generatoren (57 . . . 61) aufweist und dass die Größe des Fensters mit der Anzahl der aktiven Generatoren (57 . . . 61) größer wird. 25

52. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Hoch- und die Rücklaufzeit des Stromsollwerts gleichsinnig mit der Änderung des Betrags, vorzugsweise proportional mit dem Betrag der Ist Drehzahl des elektrischen Propellermotors (3) verändert wird. 30

53. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Hoch- und die Rücklaufzeit des Stromsollwerts umgekehrt proportional zur Anzahl und Baugröße der das Bordnetz mit elektrischer Energie speisenden Generatoren (57 . . . 61) verändert wird. 35

54. Schiffsantriebssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die dritten Filtermittel (55) mikroprozessorbasierend oder analog oder gemischt digital analog arbeitend ausgeführt sind. 40

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

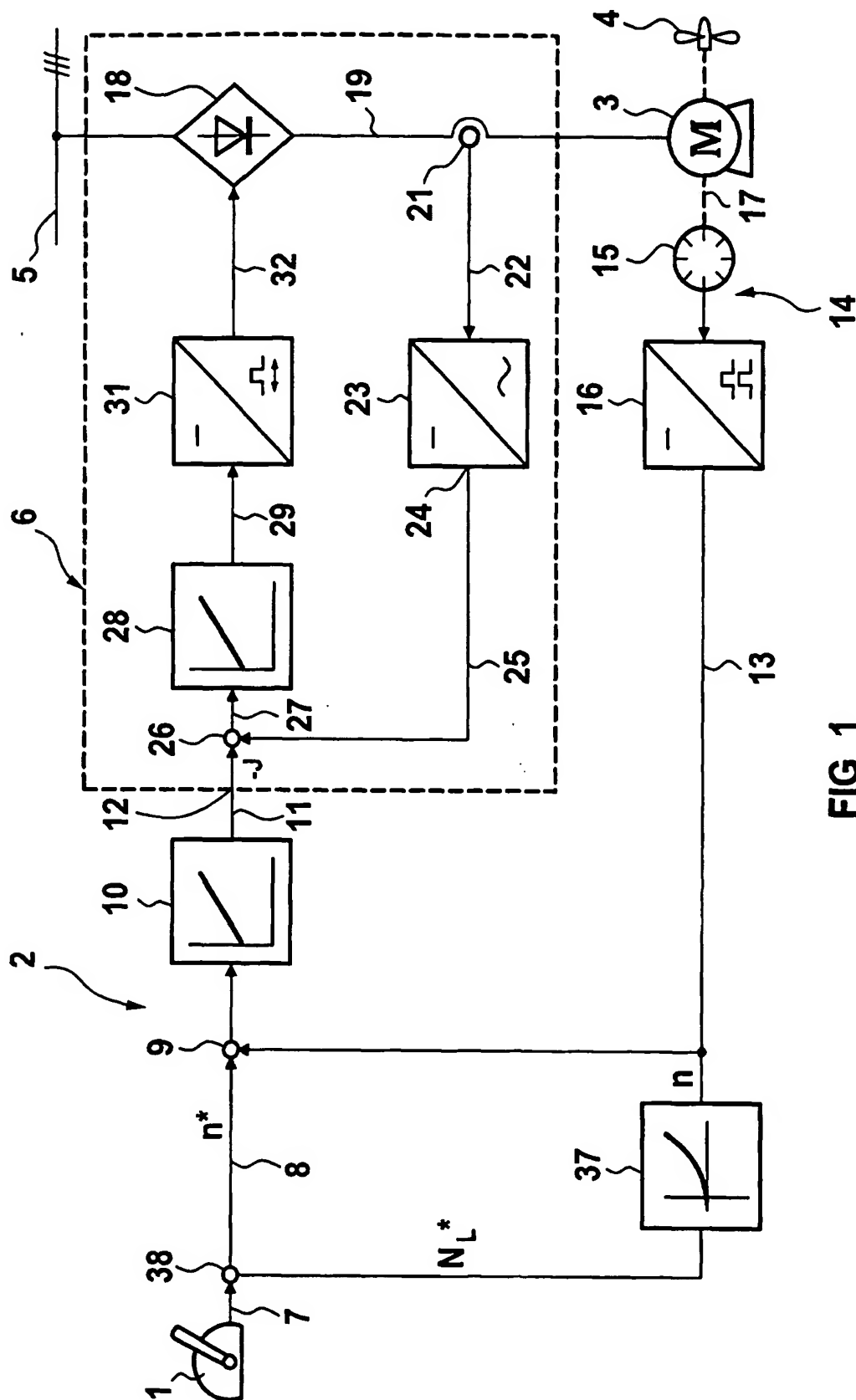
45

50

55

60

65



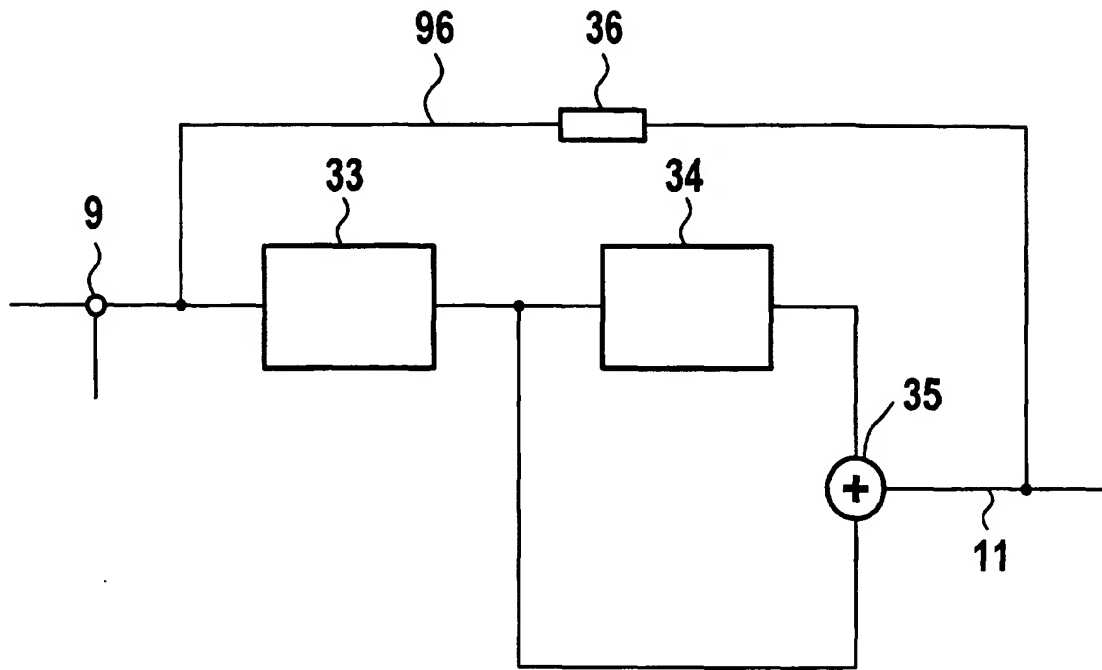


FIG 2

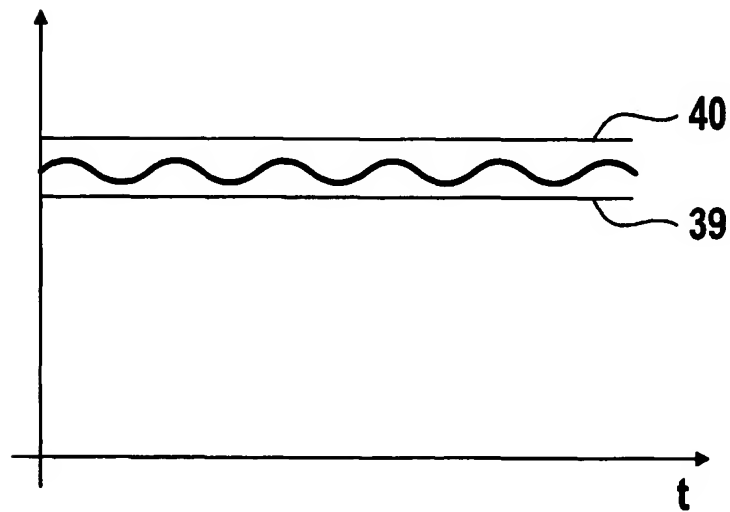
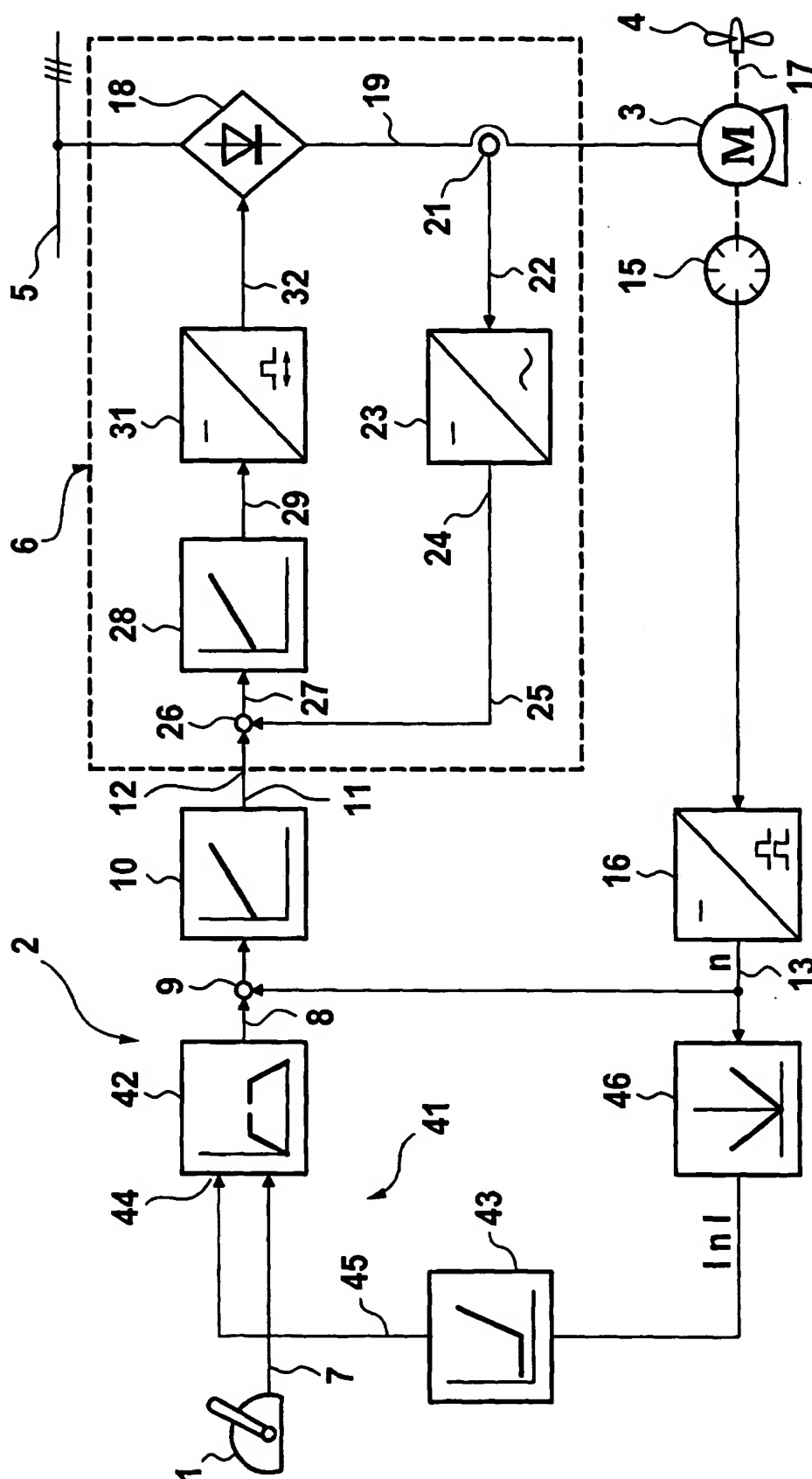


FIG 3



**FIG 4**

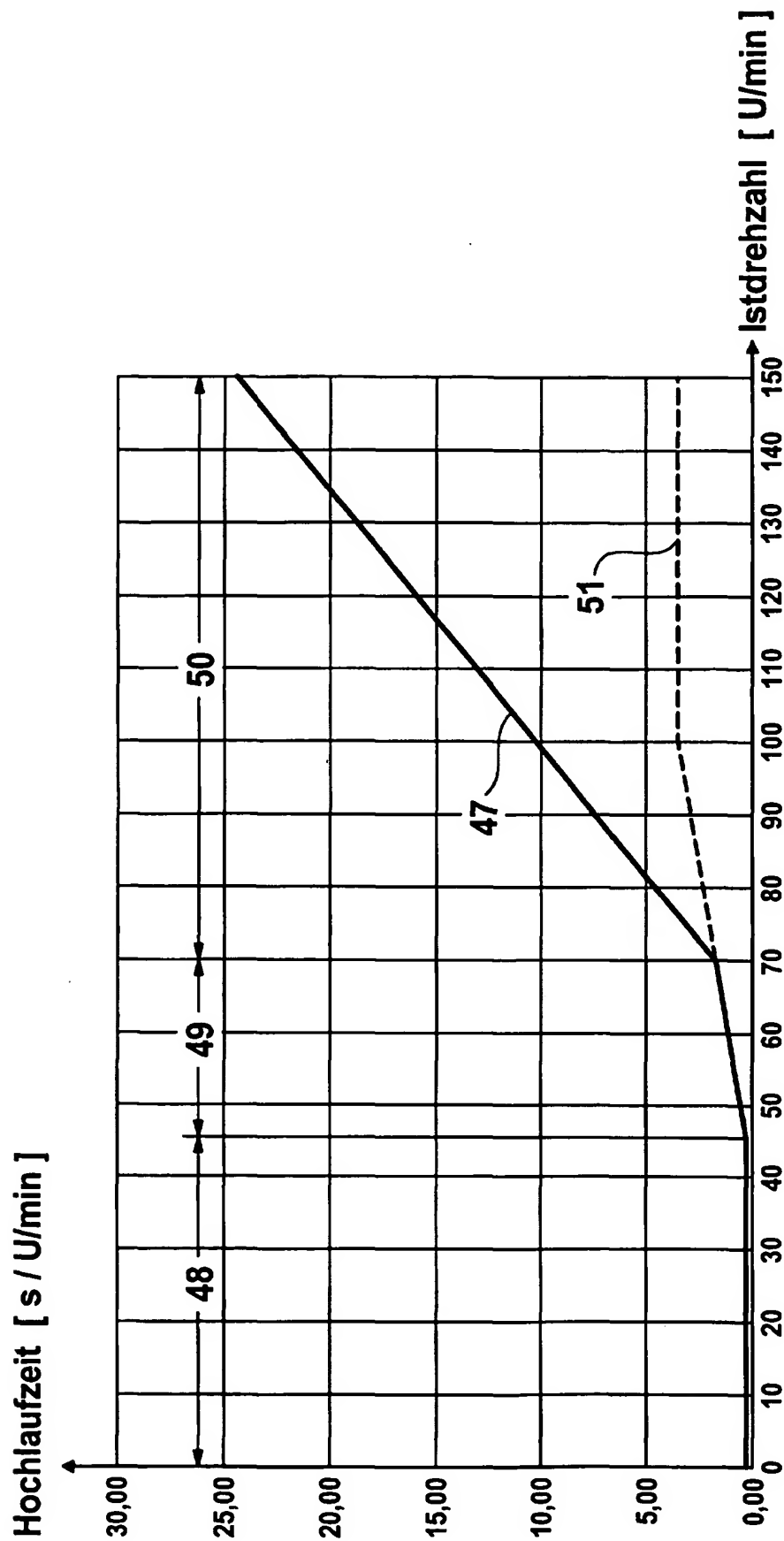


FIG 5

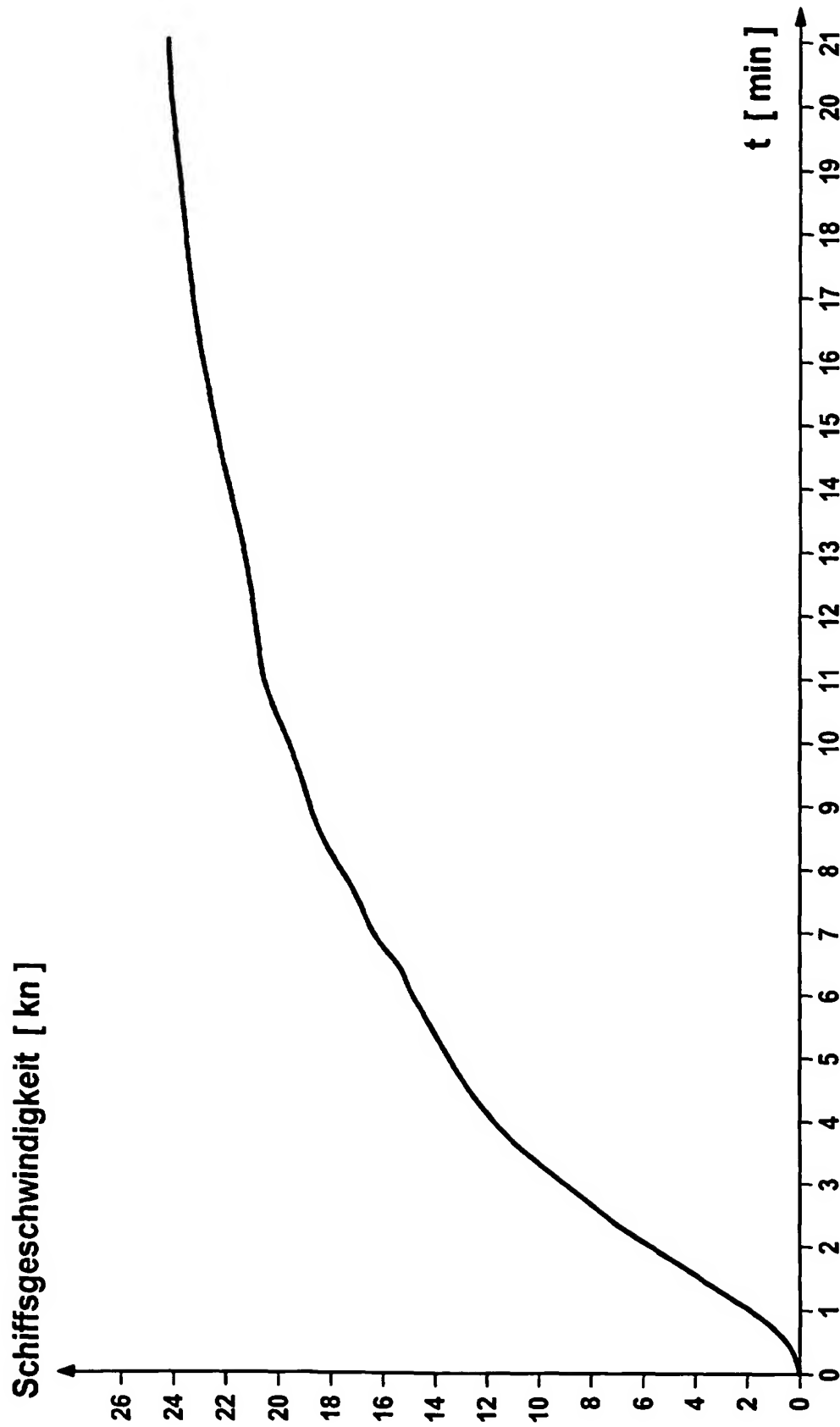


FIG 6

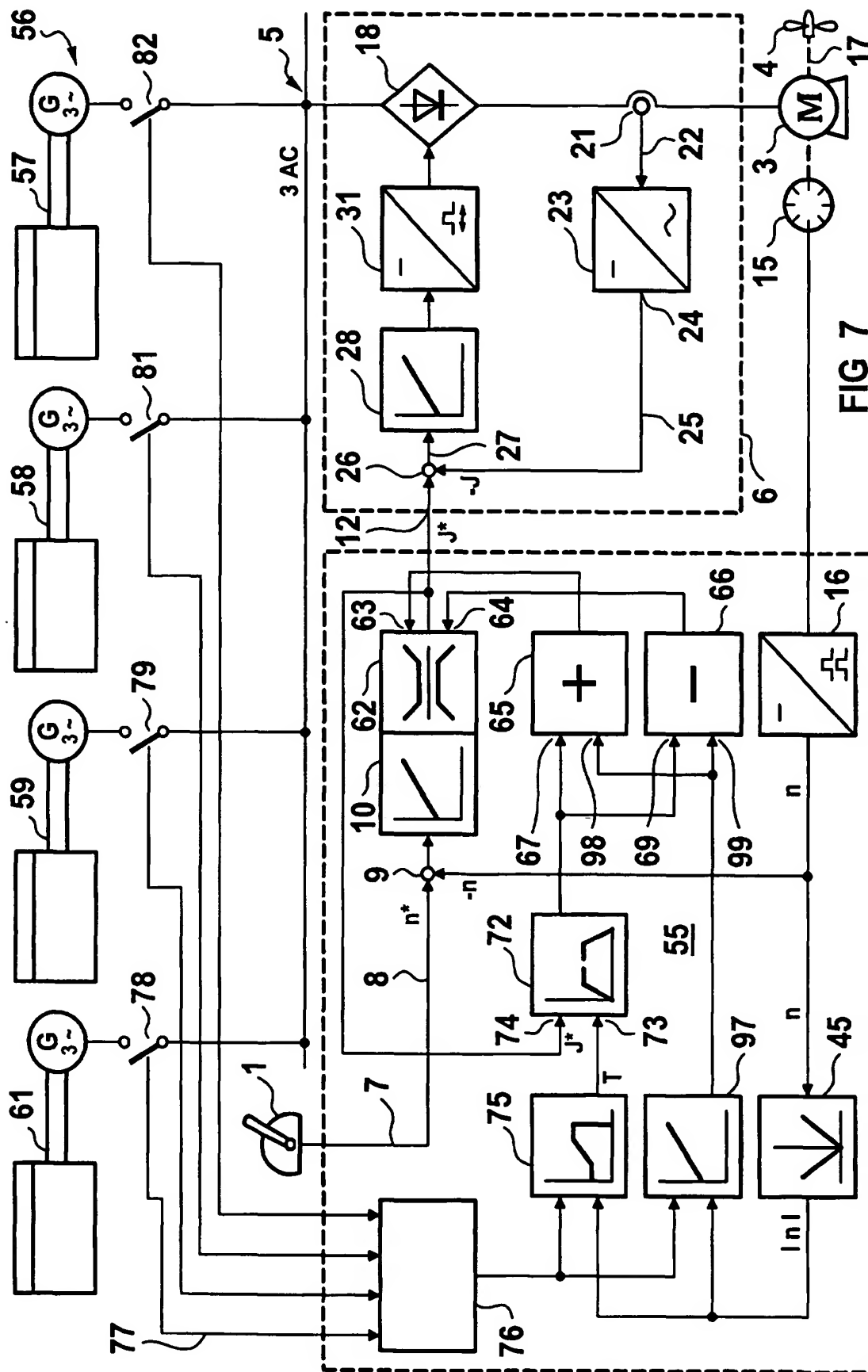


FIG 7



